

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Jelena Fressl

**UTJECAJ EMERZNE VEGETACIJE NA SASTAV ZOOPLANKTONA I
EPIFITONA U RUKAVCIMA RIJEKE KRAPINE**

Diplomski rad

Zagreb, lipanj 2010. godine

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom doc. dr. sc. Marije Špoljar, i predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja dipl. ing. biologije – smjer ekologija.

Zahvaljujem se svojoj mentorici doc. dr. sc. Mariji Špoljar na velikoj pomoći oko diplomskog rada, od izbora teme, terenskog i laboratorijskog rada, do pomoći oko samog pisanja rada. Također bih se željela zahvaliti suvoditelju Tvrtku Dražini, dipl.ing., kao i kolegama Zlatku Grčiću, dipl.ing., i Matiji Meseljeviću, dipl.ing., na pomoći u terenskom i laboratorijskom radu.

Velika hvala mojoj cijeloj obitelji, pogotovo Žuli, na velikoj potpori tijekom studija i ljubavi tijekom cijeloga života, a nadam se i u budućnosti.

Na kraju bih se htjela zahvaliti svojim prijateljicama i prijateljima na svim lijepim, veselim i ludim trenucima koje smo proživjeli zajedno, ali i na utjehi u teškim trenucima. Pogotovo hvala mojim prijateljima s faksa, kolegama, koji su mi zaista nebrojeno puta pomogli tijekom studija.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

UTJECAJ EMERZNE VEGETACIJE NA SASTAV ZOOPLANKTONA I EPIFITONA U RUKAVCIMA RIJEKE KRAPINE

JELENA FRESSL

Zoologijski zavod, Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Rooseveltov trg 6,
10000 Zagreb, Hrvatska

SAŽETAK

U istraživanju zooplanktona i epifitona, provedenog tijekom ljetnog razdoblja 2008. godine u dva rukavca rijeke Krapine, bile su obuhvaćene skupine kolnjaka (Rotifera), veslonožaca (Copepoda) i rašljoticalaca (Cladocera). Uzorci zooplanktona su uzimani u svakom jezeru u zoni slobodne vode i litorala. Epifiton je strugan s makrofita (*Iris pseudacorus* i *Mentha aquatica*) uzetih na postajama litorala. Osnovne hipoteze ovog rada bile su: (i) širina litoralne zone i prozirnost vode utječu na horizontalnu raspodjelu zooplanktona u plitkim jezerima; (ii) širina zone makrofita te struktura stabljike utječu na sastav epifitona. Ciljevi istraživanja bili su: 1) analizirati razlike kvalitativnog i kvantitativnog sastava zooplanktona slobodne vode i litorala u rukavcima s različitom prozirnošću vode; 2) analizirati utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na sastav zooplanktona u zoni slobodne vode i u litoralnoj zoni; 3) utvrditi utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na kvalitativni i kvantitativni sastav epifitona.

Fizičko-kemijski čimbenici te izvori hrane nisu se značajno razlikovali unutar rukavaca. Između rukavaca zabilježena je značajna razlika u prozirnosti vode i koncentraciji klorofila *a* koja je utjecala na sastav zajednica. Manja prozirnost vode u RK1 uvjetovana je užom zonom makrofita i većom koncentracijom suspendiranih organskih tvari, dok je veća prozirnost u RK2 uvjetovana širom zonom makrofita i sastavom zooplanktona. U sastavu zooplanktona obaju rukavaca dominirale su od Rotifera vrste roda *Polyarthra* te vrsta *Keratella cohlearis*, od Copepoda ličinački stadiji. Cladocera su u RK1 bili zastupljeni manjim, a u RK2 većim vrstama. Algivorni Rotifera i Copepoda dominirali su u slobodnoj vodi, za što je bila ključna raspoloživost hrane. Predacijski pritisak riba (vizualnih predatora) bio je ublažen manjom prozirnošću vode i višim stupnjem trofije u RK1. Brojnost vrste *Bosmina longirostris* u slobodnoj zoni određena je kompeticijom s vrstom *K. cohlearis* i prozirnošću vode, odnosno, predacijskim pritiskom riba, što je pogotovo vidljivo u rukavcu s većom prozirnošću vode i izraženijim predacijskim pritiskom riba - RK2. Veća prozirnost ukazuje na niži stupanj trofije RK2 u odnosu na RK1, što se očitovalo i u manjoj brojnosti zooplanktona. U jezeru sa širom zonom makrofita brojnost svojti epifitona bila je veća. Također, veća brojnost epifitona zabilježena je na strukturno složenijim stabljikama vodene metvice u odnosu na jednostavne stabljike irisa. Raznolikost vrsta makrofita i šira zona makrofita pozitivno utječu na raznolikost i brojnost epifitona.

(stranica 56, slika 14, tablica 10, literaturnih navoda 80, izvornik na hrvatskom jeziku)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: prozirnost vode/predacijski pritisak/“oxbow“ jezero/Rotifera/Cladocera/Copepoda

Voditelj: dr. sc. Maria Špoljar, docent

Suvoditelj: Tvrtko Dražina, dipl. ing.

Ocjenitelji: dr. sc. Božena Mitić, izvanredni profesor

dr. sc. Zoran Tadić, docent

Zamjena: dr. sc. Ivančica Ternjej, docent

Rad prihvaćen: 30. lipnja 2010.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

EFFECTS OF EMERGENT VEGETATION ON ZOOPLANKTON AND EPIPHYTON COMMUNITIES IN OXBOW LAKES OF RIVER KRAPINA

JELENA FRESSL

Department of Zoology, Division of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, Rooseveltov trg
6, 10000 Zagreb, Croatia

SUMMARY

The research of zooplankton and epiphyton was conducted in the summer of 2008 in two oxbow lakes of the river Krapina. The investigation included rotifers (Rotifera), cladocerans (Cladocera) and copepods (Copepoda). Zooplankton samples were collected in free-water zone and littoral of each lake. Epiphyton samples were scraped from plants surfaces (*Iris pseudacorus* and *Mentha aquatica*) taken at the littoral stations. The following hypotheses were set: (i) width of littoral zone and water clarity affect horizontal distribution of zooplankton in shallow lakes; (ii) width of macrophyte bed and plant stem structure affect epiphyton composition. The research goals were: 1) to analyse qualitative and quantitative differences of zooplankton composition both in free-water and in littoral zone of lakes with different water clarity; 2) to analyse effects of environmental and biotic factors on both free-water and littoral zooplankton composition; 3) to determine effects of environmental and biotic factors on both the qualitative and quantitative epiphyton composition.

Environmental factors and food resources did not differ significantly within the lakes. However, between the lakes the significant difference in water clarity and chlorophyll *a* was determined. RK1 smaller water clarity was induced by a narrower macrophyte bed and a greater concentration of suspended organic matter, while RK2 greater water clarity was induced by a wider macrophyte bed zooplankton composition. In zooplankton composition of both lakes dominant Rotifera were species of genus *Polyarthra* and species *Keratella cochlearis* and Copepoda larval stages. Cladocera were represented with smaller species in RK1, while in RK2 larger species were found. Algivoric Rotifera and Copepoda were dominant in free-water zones because of food availability. Fish predatory pressure was reduced by smaller water clarity and higher trophic state in RK1. Abundance of *Bosmina longirostris* in free-water was determined by food competition with *K. Cochlearis* and by water clarity, i.e. fish predation which was particularly visible in RK2 due to a greater water clarity. The higher water clarity indicates lesser trophic level of RK2 in relation to RK1, which was manifested in a smaller zooplankton abundance. The lake with the wider macrophyte bed had a greater number of epiphyton species. The greater epiphyton abundance was detected on the morphologically more complex stems of *Mentha aquatica* compared to the simpler ones of *Iris pseudacorus*. Plant species diversity and wider macrophyte bed intensely affect epiphyton diversity and abundance.

(pages 56, pictures 14, tables 10, references 80, original in the Croatian language)

This thesis is deposited in the Central Biology Library.

Key words: zooplankton/epiphyton/water clarity/macrophytes/predation pressure/"oxbow" lake

Supervisor: Asst. Prof. Maria Špoljar, Ph.D.

Assistant supervisor: Tvrtko Dražina, M.Sc.

Reviewers: Assoc. Prof. Božena Mitić, Ph.D.

Asst. Prof. Zoran Tadić, Ph.D.

Substitute: Asst. Prof. Ivančica Ternjej, Ph.D.

Thesis accepted: 30th June, 2010

SADRŽAJ

1. UVOD.....	7
1.1 Biocenološke komponente zooplanktona i epifitona u vodama na kopnu.....	8
1.2 Makrofiti voda na kopnu.....	8
1.3 Uloga litoralne zone u jezerima.....	10
1.4 Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona.....	11
1.4.1 Utjecaj abiotičkih parametara na sastav jezerskog zooplanktona.....	11
1.4.2 Utjecaj biotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona.....	12
1.5 Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na sastav jezerskog epifitona.....	15
1.6 Hipoteza i ciljevi.....	16
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	17
3. MATERIJALI I METODE.....	20
3.1 Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona i epifitona.....	20
3.2 Određivanje fizičko-kemijskih svojstava vode.....	22
3.3 Izvori hrane.....	24
3.4 Statistička analiza podataka.....	25
4. REZULTATI.....	25
4.1 Okolišni čimbenici.....	25
4.2 Hranjive tvari i izvori hrane.....	28
4.3 Kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktona.....	30
4.3.1 Sastav zooplanktona u rukavcu s manjom prozirnošću vode – rukavac Krapine 1 (RK1).....	30
4.3.2 Sastav zooplanktona u rukavcu s većom prozirnošću vode – rukavac Krapine 2 (RK2).....	33
4.4 Kvalitativni i kvantitativni sastav epifitona.....	37
4.4.1 Sastav epifitona u rukavcu s uskom litoralnom zonom i makrofitima jednostavne stabljike.....	38
4.4.2 Sastav epifitona u rukavcu sa širom litoralnom zonom i makrofitima veće složenosti stabljike.....	41
5. RASPRAVA.....	42
6. ZAKLJUČAK.....	48
7. LITERATURA.....	49

1. UVOD

Plitka jezera su specifični ekosustavi voda na kopnu, dugo zanemarivani u limnološkim istraživanjima, unatoč velikoj biološkoj raznolikosti primarnih producenata, algi i kormofita (planktonskih i makrofita) te nektonskih, bentoskih i planktonskih životinjskih vrsta (CASTRO i sur., 2005). Također su važna staništa i za niz kopnenih vrsta sisavaca, a pogotovo ptica. Danas su mnoga plitka jezera i njihova bioraznolikost ugroženi eutrofikacijom, acidifikacijom te unosom alohtonih/invazivnih vrsta (KALF, 2002).

Iako je eutrofikacija proces koji se odvija u stajaćicama, ljudski utjecaj ga ubrzava. Antropogena eutrofikacija je znatno povećanje unosa hranjivih tvari (nutrijenata) uslijed poljoprivrednih djelatnosti, ispuštanja otpadnih voda, crpljenja vode za navodnjavanje, rekreacije te prihranjivanja riba za sportski ribolov (BURKS i sur., 2002). Posljedice navedenih aktivnosti su porast primarne (fitoplankton i vodeni makrofiti), a potom i sekundarne produkcije (zooplankton, veći beskralježnjaci i ribe). Porast produkcije ubrzava proces sedimentacije čestica što utječe na smanjenje dubine jezera (HORPPILA i NURMINEN, 2001). Taj proces može u konačnici rezultirati prelaskom iz vodenog u potpuno kopneni ekosustav, što se naziva terestrijalizacija. Kako bi se eutrofikacija i terestrijalizacija usporile te se očuvala biološka raznolikost jezera, primjenjuju se različite mjere restauracije biomanipulacijom, u čemu su već postignuti zapaženi rezultati (HORPPILA i NURMINEN, 2001).

Prije svakog restauracijskog zahvata u ekosustav ili poduzimanja mjera za njegovu zaštitu, nužno je procijeniti strukturu bioloških zajednica. Upravo su za tu procjenu zooplanktonska i epifitonska zajednica izvrsni indikatori stupnja trofije/saprobnosti jezera zbog svoga ključnog položaja u hranidbenoj mreži i kruženju hranjivih tvari te osjetljivosti na *bottom-up* (količina dostupne hrane) i *top-down* (predacijski pritisak) povratne mehanizme kontrole brojnosti (MARGALEF, 1983; JEPPESEN i sur., 1999; CASTRO i sur., 2005).

1.1 Biocenološke komponente zooplanktona i epifitona u vodama na kopnu

Plankton je skupni naziv za organizme, morfološki i fiziološki prilagođene životu u slobodnoj vodi jezera, mora i oceana, kojima je zajedničko obilježje slabija autonomna pokretljivost. Razlikujemo fitoplankton (alge) i zooplankton. U stajaćicama, glavne biocenološke sastavnice zooplanktona jesu: kolnjaci (Rotifera), rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda). Uz njih je u planktonu brojna i raznolika skupina praživotinja (Protozoa).

Prema načinu života, plankton se dijeli u nekoliko kategorija (BREITIG i TÜMLING, 1982):

- euplankton – organizmi koji su cijeli svoj život u planktonu
- semiplankton ili meroplankton – organizmi čiji su razvojni stadiji planktonski (jaja, ličinke), a odrasli stadiji ne žive u planktonu
- tihoplankton – organizmi koji su slučajno dospjeli u plankton.

Epifiton je kompleksna obraštajna zajednica organizama na vodenim makrofitima. Sastoji se od bakterija, algi, gljiva i beskralježnjaka (makroskopskih i mikroskopskih) (DUGGAN, 2001). Glavne biocenološke komponente zoološkog mikroepifitona stajaćica jesu: heterotrofni Protozoa, kolnjaci (Rotifera), rašljoticalci (Cladocera), veslonošci (Copepoda), ljuskari (Ostracoda) i ličinke kukaca (Chironomidae) (HANN, 1995).

1.2 Makrofiti voda na kopnu

Vodeni makrofiti su raznolika skupina vodenih fotosintetskih organizama, vidljivih golim okom, čiji vegetativni dijelovi aktivno rastu, stalno ili periodički potopljeni, plutajući površinom ili prorastajući kroz površinu vode (CHAMBERS i sur., 2008).

Morfološki se razlikuju 4 tipa vodenih makrofita:

- emerzni makrofiti - biljke ukorijenjene u potopljenom ili periodično plavljenom tlu s izdancima koji se pružaju u zrak probijajući površinu vode
- makrofiti plutajućih listova - biljke ukorijenjene u tlu s listovima koji plutaju na površini vode

- slobodno plutajući makrofiti - biljke koje plutaju na površini ili neposredno ispod površine vode
- submerzni makrofiti - biljke potpuno uronjene u vodu, s korijenom ili korijenskim analogom pričvršćenim za supstrat.

Tablica 1. Sistematska podjela vodenih makrofita (prema Chambers i sur., 2008)

CARSTVO	ODJEL SLATKOVODNIH MAKROFITA	HRVATSKI NAZIV	KARAKTERISTIČNI SLATKOVODNIH MAKROFITA	ROD
Monera	Cyanobacteria	Modrozelenne alge	<i>Oscillatoria</i>	
Protista	Chlorophyta	Zelene alge	<i>Chara, Cladophora, Enteromorpha, Nitella</i>	
	Rhodophyta	Crvene alge	<i>Batrachospermum, Lemanea</i>	
	Xanthophyta		<i>Vaucheria</i>	
Plantae	Bryophyta	Mahovine	<i>Fontinalis, Riella</i>	
	Pteridophyta	Paprati	<i>Azolla, Isoetes, Salvinia</i>	
	Spermatophyta (samo kritosjemenjače imaju vodene predstavnike)	Sjemenjače	<i>Alisma, Butomus, Cabomba, Callitriche, Carex, Ceratophyllum, Elodea, Eichornia, Juncus, Lemna, Myriophyllum, Nelumbo, Nymphaea, Nuphar, Potamogeton, Ranunculus, Sagittaria, Scirpus, Sparganium, Spartina, Typha, Utricularia, Vallisneria</i>	

Evolucija vaskularnih biljaka (Pteridophyta i Spermatophyta) se do ordovicija odvijala isključivo u vodenim staništima. U ordoviciju se pojavljuju prve kopnene biljke (dokazano fosilima malih, raspršenih spora; WELLMAN i sur., 2003). Za povratak u vodeno stanište bile su nužne fiziološke i morfološke prilagodbe zbog limitirajuće koncentracije ugljičnog dioksida, smanjene dostupnosti kisika i smanjene količine svjetla. Reducirana su neka morfološka obilježja prethodno razvijena za život na kopnu (npr. puči i kutikula na listovima, ksilem i potporna tkiva kao što je lignin), dok su se razvila neka nova obilježja, poput aerenhima za transport kisika od izdanka do korijena. Manjak ugljičnog dioksida je najveći problem za submerznu vegetaciju, stoga su podvodni listovi često rasperjani kako bi se povećala površina lista (npr. *Ceratophyllum*), dok emerzna i flotantna vegetacija koristi ugljični dioksid iz zraka.

1.3 Uloga litoralne zone u jezerima

U stajaćicama se razlikuju 2 zone: zona slobodne vode i zona jezerskog dna. Zona dna se uobičajeno dijeli na 3 podzone: litoral, sublitoral i profundal (KEROVEC, 1988), no u plitkim ekosustavima (lokve, bare, močvare) razlikujemo samo 2 zone: slobodnu vodu ili pelagijal i litoralnu zonu. Zbog velike raznolikosti mikrostaništa, litoralna zona predstavlja heterogeno područje, često obilježeno zajednicama vodenih makrofita (DUGGAN, 2001; KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2001).

Trofija vodenog ekosustava utječe na raznolikost njegove vegetacije. Ultraoligotrofna i oligotrofna jezera, kao i eutrofna te hipertrofna jezera su ekosustavi koji podržavaju malo biljnih vrsta, dok su mezotrofna jezera pogodna za razvoj makrofita te imaju najbujniju floru. (CHAMBERS i sur., 2008). Vodeni makrofiti imaju važnu ulogu u strukturi i funkciji vodenog ekosustava: mijenjaju režim gibanja vode (struje i valovi), pružaju zaštitu i sklonište malim ribama i zooplanktonu, izvor su hrane te mijenjaju kvalitetu vode i sedimenta (CHAMBERS i sur., 2008). Morfologija biljnog staništa indirektno utječe na biotički sastav kao i na fizičke i kemijske čimbenike litoralne zone (KUCZYŃSKA-KIPPEN i KLIMASZYK, 2007). Njegova heterogenost povećava broj i raznolikost ekoloških niša, što rezultira velikom produkcijom i bioraznolikošću u području vodenih makrofita.

1.4 Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona

Fizički, kemijski i biološki čimbenici staništa utječu na sastav zooplanktona (DUMONT, 1977) te na njegov prostorni i vremenski raspored (KUCZYŃSKA-KIPPEN i NAGENGAST, 2003). U manjim jezerima su udaljenosti pelagijala i litorala male, pa u njima abiotički čimbenici ne stvaraju osobito izražene horizontalne gradijente za razliku od vertikalnih gradijenata u dubokim jezerima (BURKS i sur., 2002; ROMARE i sur., 2003). Zato su u plitkim jezerima biotički čimbenici važniji nego što se ranije mislilo (BURKS i sur., 2002), a litoralna zona i njena veza s pelagijalom, u vidu dnevne horizontalne migracije, postaje važna za distribuciju riba i zooplanktona (ROMARE i sur., 2003).

1.4.1 Utjecaj abiotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona

Fizikalni i kemijski čimbenici mogu utjecati na zooplankton izravno i neizravno. Na strukturu zooplanktona značajno utječu: koncentracija hranjivih tvari (fosfati i nitrati), temperatura, svjetlosni uvjeti (prozirnost vode), koncentracija otopljenog kisika i pH vode (ŠPOLJAR i sur., 2005; KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2001; DUGGAN, 2001; BURKS i sur., 2002; ESTLANDER i sur., 2009).

Temperatura je važan čimbenik na svim razinama ekologije zooplanktona – od individualne fiziologije do populacijske dinamike i može djelovati sinergistički s utjecajem svjetlosti (BURKS i sur., 2002). Temperatura utječe na promjene gustoće populacije pojedinih vrsta, životni vijek, razmnožavanje, brzinu razvoja, generacijsko vrijeme, produkciju, respiraciju itd. (ŠPOLJAR i sur., 2005). Obalna zona je obično toplija tijekom dana, što uzrokuje promjene u metabolizmu zooplanktona (BURKS i sur., 2002). Također, voda se u plićaku brže grije i hladi od dublje vode, što može uzrokovati konvekciju struja i miješanje vode litorala i pelagijala.

Stupanj prozirnosti vode značajno utječe na horizontalnu raspodjelu zooplanktona (ESTLANDER i sur., 2009), a ovisi o sadržaju koloidnih i suspendiranih čestica, kemijskom sastavu vode i gustoći planktona (TORREMORELL i sur., 2007). Prozirnost vode je također čimbenik koji značajno utječe na pokrivenost dna vodenim makrofitima. Prozirnost vodenog stupca utječe i na dubinsku (vertikalnu) raspodjelu makrofita. Jako smanjena prozirnost može uzrokovati

smanjenje makrofitskog pokrova litoralne zone ili pak izazvati potpuni izostanak submerzne vegetacije (ESTLANDER i sur., 2009). Zooplankton je pri povećanoj mutnoći vode zaštićen od predacije, jer suspendirane čestice značajno ometaju vizualnu detekciju plijena zbog rasipanja svjetlosti (HORPPILA i NURMINEN, 2005; ESTLANDER i sur., 2009). Ako je prozirnost vode velika, zooplankton je vidljiv vizualnim predatorima te je prisiljen migrirati u litoralnu zonu gdje nalazi sklonište među makrofitima (DUGGAN, 2001; KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2001). Sjena ispod makrofita potencijalno bi mogla skloniti zooplankton, iako može proći dovoljno svjetlosti da ribama omogući hranjenje (MOSS i sur., 1998). Da li je intenzitet svjetlosti ispod biljaka dovoljan za predaciju, ne ovisi samo o kvaliteti svjetla i vrsti biljke, već i o samom predatoru. Poznato je da slabiji intenzitet svjetlosti smanjuje stopu predacije planktivornih riba (ESTLANDER i sur., 2009).

Količina i sastav hranjivih tvari (orto-fosfati, nitrati) glavni su ograničavajući čimbenici rasta fitoplanktona, primarnog proizvođača organske tvari i izvora hrane sekundarnim producentima – zooplanktonu (DUGGAN, 2001; HORPPILA i NURMINEN, 2001). U nekim istraživanjima zabilježene su pozitivne korelacije između kolnjaka i hranjivih tvari (GILBERT, 1988). Sastav i koncentracija hrane ima važnu ulogu u strukturiranju zajednice zooplanktona, pogotovo kod vrsta koje imaju specijaliziranu prehranu (DUGGAN, 2001). Mnoge vrste kolnjaka pokazuju pozitivnu korelaciju s određenim vrstama alga, npr. vrste roda *Polyarthra* uzimaju za hranu alge iz redova Chrysomonadales i Chlorococcales (DUMONT, 1977). S druge strane, mnoge semiplanktonske vrste su detritovorne i uzimaju za hranu detritus i bakterije, a primjer za ovu skupinu su vrste roda *Lecane* (DUMONT, 1977).

1.4.2 Utjecaj biotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona

Od biotičkih čimbenika, kompeticija i predacija najviše utječu na kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktona (COTTENIE i sur., 2001; CASTRO i sur., 2005).

Rašljoticalci i kolnjaci su u direktnoj kompeticiji za hranu (GILBERT, 1989; WICKHAM i GILBERT, 1990), s time da su kolnjaci kompetitivno inferiorni jer rašljoticalci brže filtriraju vodu i hrane se česticama puno šireg veličinskog spektra, što znači da imaju veću ponudu hrane (GILBERT, 1988). DUMONT (1977) navodi kako bi rašljoticalci odavno eliminirali kolnjake iz biosfere da ovi

nemaju neku kompetitivnu prednost. Većina kolnjaka se maksimalno brzo razmnožava, puno brže od rašljoticalaca. Također, brzo se prilagođavaju dostupnom izvoru hrane te pokazuju veliku prilagodljivost raznim promjenama. Poznato je da se u prirodi smjenjuju maksimumi brojnosti kolnjaka i rašljoticalaca (DUMONT, 1977). Prema istom autoru, u prirodi postoje 3 mehanizma koja smanjuju kompeticiju: različita vertikalna distribucija, različito sezonsko pojavljivanje i funkcionalna specijaliziranost na određene vrste hrane. Kompeticija za hranu između skupina kolnjaka i rašljoticalaca rezultira supresijom kolnjaka u zoni slobodne vode i njihovom migracijom u litoralnu zonu. Osim kompeticije između skupina, postoji i kompeticija unutar skupina, za istu vrstu ili veličinu hrane, npr. kod kolnjaka između vrsta *Fillinia* i *Keratella quadrata* te *Fillinia* i *Polyarthra euryptera*, dok između vrsta *Fillinia* i *Keratella cochlearis* nema kompeticije (DUMONT, 1977).

Predacija je drugi važan biotički čimbenik koji utječe na kvalitativnu i kvantitativnu strukturu planktonske zajednice (*top-down* kontrola). Predatori zooplanktona dijele se na vizualne (ribe i njihove ličinke) i taktilne (ličinke nekih kukaca, brojni rakovi iz skupine Copepoda) (STEMBERGER i GILBERT, 1984). Nekoliko rodova kolnjaka *Asplanchna*, *Ploesoma* i *Trichocerca* također su obligatni predatori, a dobro je proučen odnos predatora i plijena između vrsta roda *Asplanchna* i *Brachionus* (DUMONT, 1977; CONCE-POPCUNA i DECLERCK, 1998).

Predacijski pritisak riba na zooplankton veći je u eutrofnim jezerima, jer se brojnost planktivornih riba u pravilu povećava s koncentracijom hranjivih tvari (JEPPESEN i sur., 2006). Planktivorne ribe konzumiraju veće predstavnike zooplanktona, pri čemu su rakovi iz skupine rašljoticalaca ugroženiji od rakova iz skupine veslonožaca (BURKS i sur., 2001 i 2002), jer veslonošci imaju dobru sposobnost bijega od predatora, tj. riba (PASTERNAK i sur., 2006). U litoralnoj zoni obrasloj makrofitima predacijski pritisak riba se smanjuje zbog velike strukturne složenosti staništa koja smanjuje broj susreta predator – plijen (ROMARE i sur., 2003).

Kolnjaci su razvili različite mehanizme obrane od predatora: morfološki izgled (prozirno tijelo, bodlje), kretanje brzim skakanjem (*Hexarthra* sp., *Polyarthra* sp., *Filinia* sp.), brzi rast populacije, vertikalna migracija, stvaranje kolonija i sl. (STEMBERGER i GILBERT, 1987). Neki od njih imaju loriku, na kojoj se nalaze bodlje ili drugi nastavci, koja im također pruža zaštitu od taktilnih predatora (STEMBERGER i GILBERT, 1984). Zbog prozirnosti tijela, kolnjaci su manje

uočljivi za ribe, ipak često su plijen ribljoj mladi i predatorskim beskralježnjacima (DUGGAN, 2001). Ličinke kukaca roda *Chaoborus* preferiraju za plijen rašljoticalce i veslonošce, što daje naslutiti da je mala veličina tijela kompeticijska prednost kolnjaka (DUMONT, 1977).

Makrofiti pružaju različite površine za kolonizaciju i hranjenje, zaklon od predatora, uzrokuju prostornu i vremensku varijabilnost kemije vode; sadržaj otopljenog kisika, pH i temperatura se mijenjaju kao rezultat fotosinteze biljaka, raspadanja organskog materijala i sprečavanja miješanja vode (DUGGAN, 2001). Učinkovitost biljaka kao skloništa za male ribe i za zooplankton ovisi o morfologiji, gustoći i sastavu vrsta makrofita (BURKS i sur., 2002). Iskoristivost biljaka kao skloništa najveća je ljeti, kada se razviju gusta područja makrofita u mezotrofnim i eutrofnim jezerima (BURKS i sur., 2002).

U plitkim jezerima, dnevna vertikalna migracija nije efikasno antipredatorsko ponašanje, stoga pelagički zooplankton mora primijeniti alternativnu strategiju – dnevnu horizontalnu migraciju u područje makrofita (BURKS i sur., 2002). Obitavanje u litoralnoj zoni, među makrofitima, ima i pozitivne i negativne aspekte za zooplankton, pa je to ponašanje bazirano na „procjeni“ dobiti i gubitka (*cost-benefit*), odnosno „biti nahranjen ili biti pojeden“ (KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2003). Istovremeno dok izbjegavaju pelagičke predatore, u području makrofita zooplankton je izloženiji epifitskim i bentoskim predatorskim beskralježnjacima (BURKS i sur., 2001). Negativna strana je i alelopatja, tj. utjecaj kemikalija koje izlučuju makrofiti na zooplankton. Podvodni makrofiti, npr. *Elodea canadensis*, ispuštaju kemikalije koje reduciraju rast vrsta roda *Daphnia* (BURKS i sur., 2000). Tako djeluju i na fitoplankton, izvor hrane za zooplankton; npr. vrsta *Myriophyllum* ispušta tvari koje smanjuju brojnost fitoplanktona (BURKS i sur., 2002). Smanjenje brojnosti fitoplanktona znači smanjenje kvalitete i kvantitete hrane za zooplankton. S druge strane, zamjenski izvori hrane – perifiton i bakterije, brojniji su u području makrofita nego u slobodnoj vodi.

1.5 Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na sastav jezerskog epifitona

Ekologiji epifitonskih zajednica se poklanjalo puno manje pažnje nego zooplanktonskim zajednicama, unatoč njihovoj velikoj raznolikosti i brojnosti, vjerojatno zbog metodoloških problema pri kvantitativnom uzorkovanju koje nije ujednačeno (DUGGAN, 2001).

Na sastav i brojnost epifitonskih vrsta značajno utječu abiotički čimbenici: temperatura vode, pH, konduktivitet, koncentracija otopljenog kisika i alkalinitet vode (SHARMA, 2005; DUGGAN, 2001). Na njihovu varijabilnost utječu makrofiti svojom fotosintezom, sjenom, raspadanjem i promjenama gibanja vode (DUGGAN, 2001). Također, promjene razine vode (sušenje i plavljenje makrofita) značajno utječu na kvalitativni i kvantitativni sastav epifitona (DUGGAN, 2001). TESSIER i sur. (2008) su utvrdili da razlike u fizičkim (prozirnost stupca vode) i kemijskim (koncentracija otopljenog kisika, koncentracija dušika i fosfora) čimbenicima uzrokuju razlike u epifitonu, ali ipak smatraju kako je morfološki tip vegetacije najvažniji čimbenik raznolikosti epifitona. Svjetlost izravno potiče kretanje životinja koje nisu sesilne u epifitonu, već se samo u određeno doba dana prihvaćaju za makrofite (npr. Cladocera) (HORPPILA i NURMINEN, 2008). Ipak, važnije je posredno djelovanje svjetlosti na zooepifiton ostvareno putem utjecaja na brojnost epifitskih algi (VILLENEUVE i sur., 2010), važnog izvora hrane mnogim epifitskim kolnjacima (DUGGAN, 2001).

HERZIG (1987) navodi važnost biotičkih čimbenika, kompeticije i predacije na distribuciju epifitona. WALSH (1995) sugerira da bi predatorski pritisak mogao biti glavni čimbenik koji određuje odabir staništa epifitskih kolnjaka s pretpostavkom da biljke veće strukturne složenosti pružaju bolju zaštitu od predatora. Kao i u zooplanktonu, rašljoticalci i kolnjaci su u epifitonu također u izravnoj kompeticiji za hranu (WICKHAM i GILBERT, 1990).

Interakcija makrofita i epifitona uključuje korištenje biljke kao supstrata za polaganje jaja, zaštitu od strujanja vode i osiguravanja izvora hrane - detritusa, algi ili samog tkiva biljke (BECERRA-MUNOZ i SCHRAMM, 2007). Struktura površine makrofita je značajan čimbenik razvoja epifitona, čak i sitne razlike u složenosti makrofita (npr. složenije žilje lista) mogu utjecati na raznolikost epifitona (VIEIRA i sur., 2007). PEJLER (1962) navodi kako pokretnije vrste u epifitonu (npr. vrste kolnjaka *Testudinella parva* i *Lepadella patela*) pokazuju manju

izbirljivost prema supstratu. S druge strane, mnoge sesilne vrste, npr. vrsta kolnjaka *Collotheca gracilipes* nastanjuje široke, ravne površine makrofita, dok vrsta *Stephanoceros fumbriatus* nastanjuje vrste rasperanih listova (WALLACE i EDMONDSON, 1986). DUGGAN (2001) objašnjava da za odabir biljaka koje će naseliti različite vrste iz epifitona mogu biti odgovorni: (a) fizička struktura i kompleksnost makrofita, (b) razlike u sastavu i kvaliteti hrane, (c) kemijski čimbenici, (d) starost biljke i (e) razlike u stupnju zaštite od predacije. Za život na makrofitima životinje su se morale morfološki prilagoditi, npr. kolnjaci koji žive na biljkama su manje veličine i imaju barem jedan prst na nozi s adhezivnim žlijezdama, dok se noga euplanktonskih oblika može uvući ili potpuno nedostaje (DUGGAN, 2001).

1.6 Hipoteze i ciljevi

Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazali su da submerzni makrofiti pružaju sklonište zooplanktonu od predacije riba, dok je uloga emerzne vegetacije, koja je često dominantna u eutofnim jezerima, puno manje istražena (BURKS i sur., 2002; CAZZANELLI i sur., 2008). Morfometrijska obilježja jezera znatno utječu na širinu litoralne zone s makrofitima. Uobičajeno jezera male prozirnosti, s emerznom vegetacijom, nemaju razvijene submerzne makrofite (CAZZANELLI i sur., 2008). Prozirnost, također, značajno utječe na horizontalnu raspodjelu zooplanktona jer veća prozirnost pogoduje vizualnim predatorima u hvatanju plijena, dok zooplankton nalazi sklonište među makrofitima (DUGGAN i sur., 2001; BURKS i sur., 2002; CAZZANELLI i sur., 2008). U dosadašnjim je istraživanjima dokazano da strukturno složenije stabljike pružaju bolje sklonište i supstrat za epifiton u odnosu na makrofite jednostavne stabljike (DUGGAN, 2001; DUGGAN i sur., 2001; KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2003; BECERRA-MUNOZ i SCHRAMM, 2007; CAZZANELLI i sur., 2008).

Stoga su osnovne hipoteze ovog rada bile:

- širina litoralne zone i prozirnost utječu na horizontalnu raspodjelu zooplanktona u plitkim jezerima
- širina pojasa makrofita te struktura stabljike utječu na sastav epifitona.

Za provjeru hipoteza postavljani su sljedeći ciljevi istraživanja:

- analizirati razlike kvalitativnog i kvantitativnog sastava između zooplanktona slobodne vode i litorala rukavaca;
- analizirati utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na sastav zooplanktona u zoni slobodne vode i litoralu rukavaca;
- utvrditi utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na kvalitativni i kvantitativni sastav epifitona.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

U radu je istraživani sastav zooplanktona i epifitona dvaju rukavaca rijeke Krapine. Istraživani rukavci nalaze se uz Zagorsku magistralu, između mjesta Luka i Veliko Trgovišće, a prema nastanku to su bivši meandri rijeke, oblika slova U, koji su ostali odsječeni od glavnog toka. Takav tip vodenog ekosustava naziva se „oxbow“ jezero. Može nastati prirodno, procesima erozije i taloženja sedimenta rijeke, ili pod antropogenim utjecajem, prilikom regulacije rijeka ili izgradnje prometnica. U ovom slučaju jezera su nastala kao posljedica izgradnje magistrale pedesetih godina dvadesetog stoljeća. Oba rukavca su polimiktički, eutrofni, plitki ekosustavi. Razina vode u rukavcima primarno ovisi o količini oborina.

Lokalizacije i postaje istraživanja prikazuje slika 1. Rukavce smo imenovali kao lokalizacije: rukavac Krapine 1 (RK1) i rukavac Krapine 2 (RK2). U svakom rukavcu uzorci vode su uzimani na dva različita staništa, tj. postaje – u zoni slobodne vode, pelagijalu (P1 i P2), i u litoralnoj zoni (L1 i L2). Uzorci epifitona sa stabljika perunike (*Iris pseudacorus* L.) i vodene metvice (*Mentha aquatica*) uzimani su na postajama (L1, L2) u litoralnoj zoni rukavaca Krapine.



Slika 1. Područje istraživanja – rukavac Krapine 1 (RK1), rukavac Krapine 2 (RK2), postaje u slobodnoj vodi (P1 i P2), postaje u litoralnoj zoni (L1 i L2). (GOOGLE EARTH, 2009)

Tablica 2. Glavna morfometrijska obilježja, sastav makrofita i najvažnije vrste riba u istraživanim rukavcima

MORFOMETRIJSKA OBILJEŽJA JEZERA	RK1	RK2
Dužina – max (m)	150	81
Širina – max (m)	37	48
Površina (ha)	1.7	1
Dubina – max (m)	4	3
Nagib obale	oštar	postepen
Prozirnost – Secchi disk (m)	0.50 – 0.55	0.60 – 0.90
Okolna staništa	oranica	livada
Tip vodene vegetacije	emerzna vegetacija	emerzna vegetacija
Širina pojasa makrofita (m)	1	1.5
Sastav makrofita (%)	<i>Typha latifolia</i> L. (40%) <i>Iris pseudacorus</i> L. (30%) <i>Sparganium ramosum</i> L. (15%) <i>Carex</i> sp. (15%)	<i>Typha latifolia</i> L. (40%) <i>Iris pseudacorus</i> L. (20%) <i>Mentha aquatica</i> L. (25%) <i>Carex</i> sp. (15%)
Vrste riba - najzastupljenije	<i>Abramis brama</i> (deverika) <i>Alburnus alburnus</i> (uklija) <i>Cyprinus carpio</i> (šaran) <i>Esox lucius</i> (štuka) <i>Ictalurus melas</i> (američki somić) <i>Lepomis gibbosus</i> (sunčanica) <i>Rutilus rutilus</i> (crvenpera bjelica) <i>Sander lucioperca</i> (smuđ) <i>Squalius cephalus</i> (klen)	<i>Abramis brama</i> (deverika) <i>Alburnus alburnus</i> (uklija) <i>Ameiurus melas</i> (crni somić) <i>Cyprinus carpio</i> (šaran) <i>Esox lucius</i> (štuka) <i>Lepomis gibbosus</i> (sunčanica) <i>Rutilus rutilus</i> (crvenpera bjelica) <i>Sander lucioperca</i> (smuđ) <i>Squalius cephalus</i> (klen)

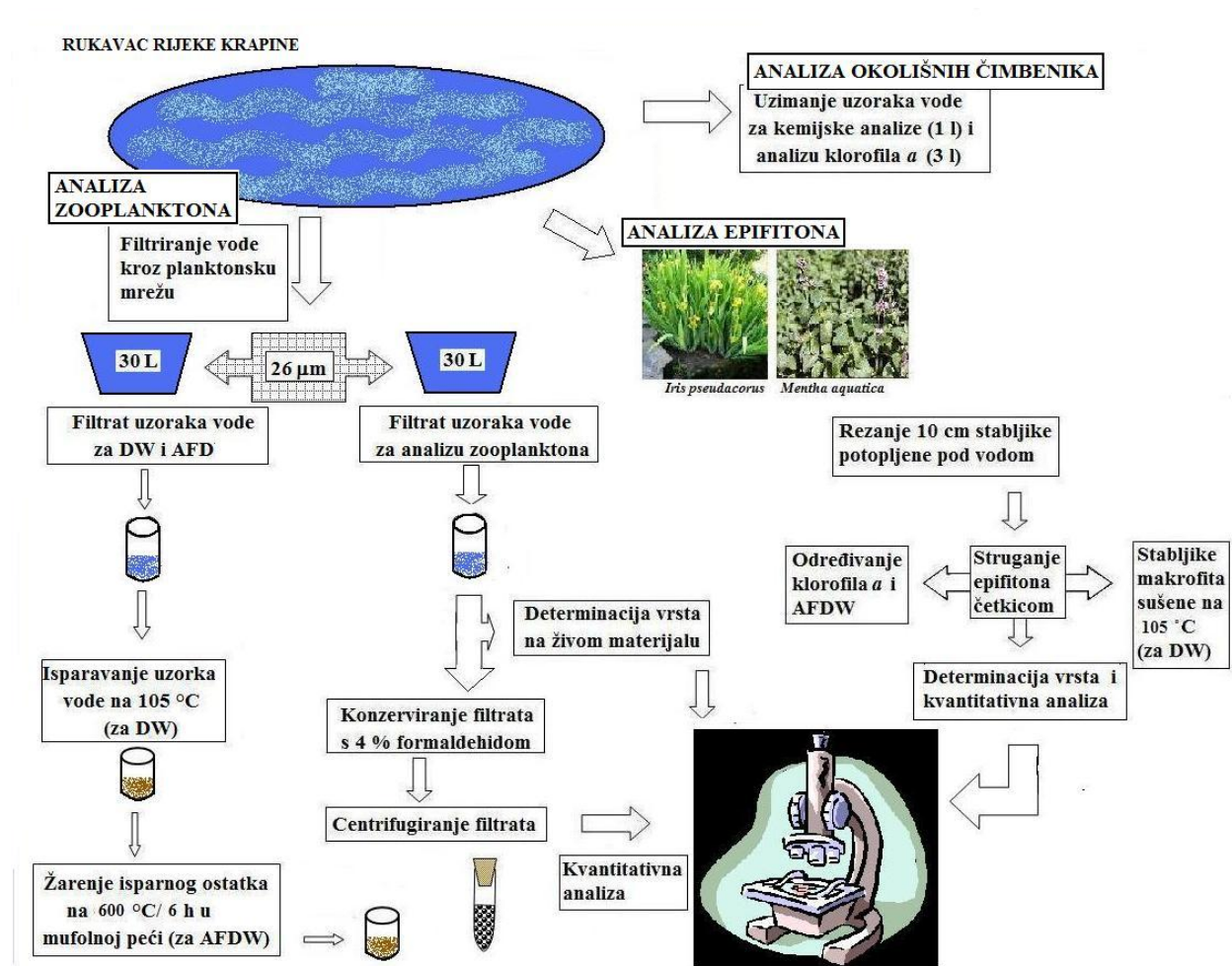
3. MATERIJALI I METODE

3.1. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona i epifitona

Uzorci vode prikupljeni su tijekom ljetnog razdoblja (srpanj, kolovoz i rujan) 2008. godine. U srpnju su uzorci prikupljeni dva puta, s razmakom od dva tjedna, dok su u kolovozu i rujnu uzimani jednom mjesečno. Na svakoj postaji je profiltrirano dva puta po 30 litara vode kroz planktonsku mrežu (promjer oka 26 μm). Jedan se uzorak koristio za određivanje kvalitativnog i kvantitativnog sastava zooplanktona, a drugi za određivanje ukupnog sadržaja organske tvari. Za laboratorijsku kemijsku analizu vode uzimani su uzorci u bocama od 1 litre, a za laboratorijsko određivanje klorofila *a* u bocama od 3 litre. Svi uzorci su dopremljeni u laboratorij u prijenosnom hladnjaku. Pregledavanjem uzoraka pod svjetlosnim mikroskopom marke Zeiss prvo je provedena kvalitativna analiza na živom materijalu koji je potom fiksiran u 4% formaldehidu. Kako bi se sadržaj uzorka koncentrirao te mu se volumen smanjio na 10-15 mL, svi su uzorci centrifugirani na 1000 okretaja u minuti u trajanju od 5 minuta. Zatim je provedena kvantitativna analiza pregledavanjem uzoraka pod svjetlosnim mikroskopom (Zeiss). Za svaki uzorak brojala su se 3 poduzorka od 0.5 mL. Brojnost pojedine vrste je izražena brojem jedinki u litri vode (jed/L).

Uzorci epifitona su uzimani s makrofita na postajama u litoranim zonama rukavaca (L1 i L2), dva puta u srpnju i jednom u kolovozu. Zbog sniženja razine vode, u rujnu, biljke su ostale izvan vode te uzorci epifitona nisu uzeti. U RK1 i RK2 uzorci epifitona uzimani su s vrste *Iris pseudacorus*, (I1, I2), a u RK2 uzimani su i s vrste *Mentha aquatica* (M2). Uzorci epifitona skupljeni su rezanjem 10 cm stabljika emerznih makrofita u dijelu koji je bio stalno potopljen u vodi. U svakom uzorku uzimani su replikati za analizu epifitona, za analizu klorofila *a* i detritusa. Epifiton je strugan četkicom sa svake stabljike. Sve stabljike s kojih je odstranjen epifiton bile su sušene do konstantne težine na 104 °C te izvagane radi izračuna brojnosti zooskomponente epifitona po jedinici težine suhe tvari stabljike (jed/g DW). Uzorci epifitona pregledavani su na živom materijalu.

Za determinaciju kolnjaka (Rotifera) korišten je ključ VOIGT i KOSTE (1978). Većina kolnjaka je određena do razine vrste. Izuzetak su vrste roda *Polyarthra* koje su, zbog teškoća u determinaciji, dvije vrste *P. dolychoptera* i *P. vulgaris*, izbrojane zajedno, a Bdeloidni kolnjaci su izbrojani, ali nisu determinirani do nižih sistematskih kategorija. Rakovi iz skupine Cladocera determinirani su prema ključu AMOROS (1984), a za determinaciju Copepoda koristio se ključ EINSLE (1993).



Slika 2. Shema sakupljanja uzoraka i njihove laboratorijske obrade.

Za opisivanje biocenoloških obilježja zooplanktonske zajednice korišteni su sljedeći indeksi:

- Sørensenov indeks sličnosti (SØRENSEN, 1948) koji je izračunat prema jednadžbi:

$$S = \frac{2C}{A + B} \times 100$$

gdje je:

S - Sørensenov indeks sličnosti

A – ukupni broj vrsta u prvoj zajednici

B – ukupni broj vrsta u drugoj zajednici

C – broj zajedničkih vrsta

- Shannon-Wienerov indeks (SHANNON i WEAVER, 1949) raznolikosti zajednice koji je izračunat prema jednadžbi:

$$H' = - \sum \frac{n_i}{N} \times \log_2 \frac{n_i}{N}$$

gdje je:

H' – Shannon-Wienerov indeks raznolikosti zajednice

n_i – brojnost vrste i u uzorku

N – ukupna brojnost u uzorku

3.2 Određivanje fizičko-kemijskih svojstava vode

Fizičko-kemijska analiza vode obuhvaćala je mjerenje sljedećih parametara:

- temperatura vode (°C, oksimetar oznake WTW OXI 96)
- prozirnost vode (m, Secchi disk)
- koncentracija otopljenog kisika (mg O₂/L, oksimetar oznake WTW OXI 96)
- pH vrijednost (pH-metar oznake WTW 330i),
- konduktivitet - sposobnost vodene otopine za provođenje struje, određen brojem i pokretljivošću prisutnih aniona i kationa (μS/cm, konduktometar marke Hach Sension 5),
- ukupne otopljene tvari, eng. *total dissolved solids* – TDS - masa svih otopljenih tvari: minerala, soli, aniona, kationa i suspendiranih čestica u volumenu vode (mg/L, konduktometar oznake Hach Sension 5)

- koncentracija ortofosfata (mg P-PO₄³⁻/L)
- koncentracija nitrata (mg N-NO₃⁻/L)
- alkalitet (mg CaCO₃/L).

Prozirnost stupca vode, temperatura, pH, koncentracija kisika, konduktivitet i TDS mjereni su *in situ*. Alkalitet ukazuje na sadržaj karbonatnih (CO₃²⁻), bikarbonatnih (HCO₃²⁻) i hidroksilnih (OH⁻) aniona, a određen je titrimetrijski 0.1 M otopinom klorovodične kiseline uz indikator metiloranž (završna točka titracije kod pH = 4.3) (HOELL, 1986).

Koncentracije ortofosfata i nitrata te alkalitet uzoraka vode mjereni su u laboratoriju. Za sva spektrofotometrijska mjerenja korišten je spektrofotometar oznake HACH DR/2000.

Koncentracija ortofosfata određivana je metodom reakcije s kositarkloridom (APHA, 1985). Amonij-molibdat reagira u kiselom mediju (pH<1) s ortofosfatima i stvara molibdofosfornu kiselinu. Nastala kiselina se reducira kositar-kloridom i daje fosfomolibdensko plavilo. Intenzitet obojenja ovisi o koncentraciji ortofostata, a mjereno je spektrofotometrijski na valnoj duljini od 690 nm. Koncentracija nitrata određena je metodom reakcije s natrijevim-salicilatom. Natrijev-salicilat reagira s nitratima, a u kiselom mediju i u prisutnosti otopine kalij-natrij-tartarata daje žuto obojenje čiji intenzitet ovisi o koncentraciji nitrata. Intenzitet obojenja mjereno je spektrofotometrijski na valnoj duljini od 420 nm (HOELL, 1986).

Stupanj trofije sustava određen je prema CARLSONU (1977). Iz prozirnosti vode mjerene Secchi diskom (SD), izračunava se indeks stupnja trofije (eng. *trophic state index*, TSI) prema formuli:

$$\text{indeks stupnja trofije (TSI}_{\text{SD}}) = 10 \times (6 - \log_2 \text{SD})$$

Plitki nestratificirani vodeni sustavi mogu se podijeliti na:

- mezo-eutrofne (2,8 m -1,4 m; TSI_{SD} 45-55)
- eutrofne (1,4 m - 0,6 m; TSI_{SD} 55-65)
- politrofne (<0,6 m; TSI_{SD} >65)

3.3 Izvori hrane

Zooplanktonski organizmi se hrane fitoplanktonom (alge), suspendiranom organskom tvari (detritus i bakterije) te otopljenom organskom tvari. U ovom istraživanju su korištene metode za procjenu sva tri izvora hrane, izuzev analize heterotrofnih bakterija.

Za procjenu biomase fitoplanktona određivana je koncentracija klorofila *a* (chl *a*), osnovnog fotosintetskog pigmenta većine autotrofnih algi, metodom etanolske ekstrakcije (NUSCH, 1980). Na terenu su u tu svrhu uzete 3 litre vode. Absorbancija uzoraka određena je spektrofotometrijski na 665 nm, valnoj duljini apsorpcijskog maksimuma klorofila *a*. Koncentracija klorofila *a* izračunata je prema jednadžbi:

$$\text{Chl } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{29.6 \times (E_{665}^a - E_{665}^b) \times v}{V \times d}$$

gdje je:

Chl *a* – koncentracija klorofila *a* (mg/m³)

E₆₆₅^a – ekstinkcija ekstrakta na 665 nm prije zakiseljavanja (Chl *a* + feofitin)

E₆₆₅^b – ekstinkcija ekstrakta na 665 nm nakon zakiseljavanja (samo feofitin)

v – volumen otopine ekstrakta uzorka u mililitrima (mL)

V – volumen profiltrirane vode u litrama (L)

d – promjer spektrofotometrijske kivete u centimetrima (cm).

Za procjenu količine detritusa određivana je količina suspendirane organske tvari (eng. *particulate organic matter*, POM) temeljem vrijednosti gubitka pri žarenju (eng. *ash free dry weight*, AFDW). Uzorci su sakupljeni filtriranjem 30 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka od 26 μm. Uzorak vode je prvo sušen na temperaturi od 105°C/4h (vaganjem je dobivena masa suhog ostatka) u keramičkoj posudici, a potom je žaren u mufolnoj peći na 600°C/6h (vaganjem je dobivena masa žarenog ostatka). Razlika masa suhog i žarenog ostatka je gubitak pri žarenju, AFDW (mg AFDW/m³).

Za procjenu koncentracije otopljene organske tvari (eng. *dissolved organic matter*, DOM) korištena je oksido-redukcijska metoda kemijske potrošnje kisika iz kalijeveg permanganata (KPK_{KMnO₄}). Metoda se zasniva na kemijskoj reakciji u kojoj kalij-permanganat, jako

oksidativno sredstvo, oksidira svu otoplenu organsku tvar u vodi. Količina utrošenoga kisika ekvivalentna je količini otopljene organske tvari.

3.4 Statistička analiza podataka

Za statističku analizu podataka (Mann-Whitney U test, Spearmanov koeficijent korelacije) korišten je program STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., 2007). Prilikom utvrđivanja stupnja značajnosti prostornih razlika zooplanktona korišten je neparametrijski Mann-Whitney U test za usporedbu dviju nezavisnih varijabli, a prilikom utvrđivanja značajnosti korelacija između pojedinih okolišnih čimbenika te korelacija između okolišnih čimbenika i zooplanktona korišten je Spearmanov koeficijent korelacije (r). Za izračunavanje Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti (H') korišten je program Primer 5 (PRIMER-E Ltd., 2002). Za izradu grafičkih i tabličnih prikaza korišten je program Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation, 2007).

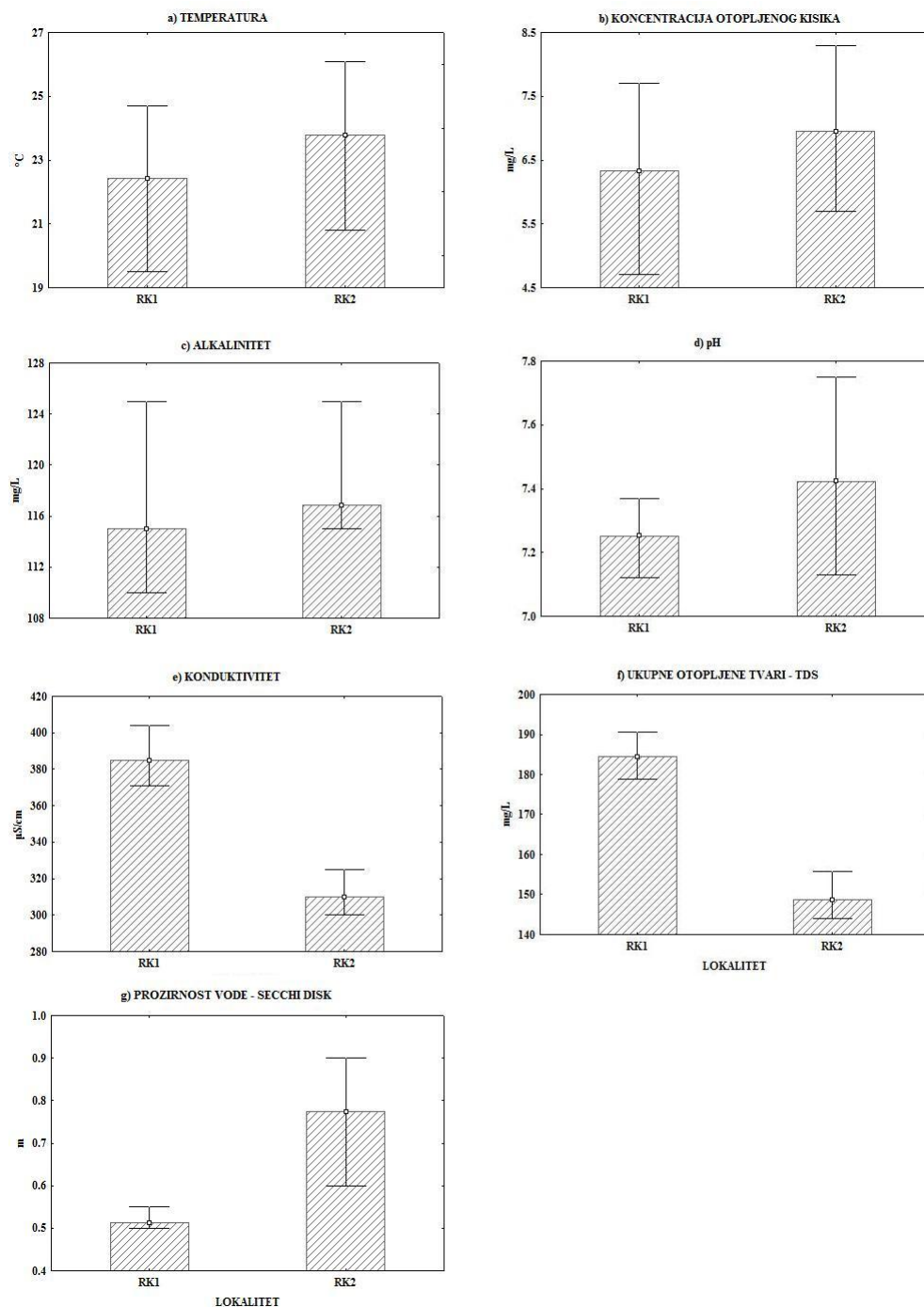
4. REZULTATI

4.1 Okolišni čimbenici

U ljetnom razdoblju srednja vrijednost *temperature* vode iznosila je 22.41 ± 1.93 °C u RK1, a nešto viša srednja vrijednost, 23.79 ± 2.05 °C, dobivena je u RK2 (sl. 3a). Najniža vrijednost *koncentracije otopljenog kisika* zabilježena je u oba rukavca u srpnju (RK1 4.7 mg O₂/L, RK2 5.7 mg O₂/L). U RK1 koncentracija otopljenog kisika varirala je oko srednje vrijednosti od 6.34 ± 1.20 mg O₂/L, a u RK2 oko 6.95 ± 0.85 mg O₂/L (sl. 3b). Niže srednje vrijednosti *alkaliteta* i *pH* zabilježene su u RK1 (alkalitet 115 ± 4.63 mg CaCO₃/L; pH 7.25 ± 0.10), a nešto više u RK2 (alkalitet 116.88 ± 3.72 mg CaCO₃/L; pH 7.42 ± 0.22). Najniže vrijednosti pH zabilježene su u oba rukavca u srpnju (RK1 7.12; RK2 7.13), (sl. 3c, 3d).

Vrijednosti *konduktiviteta* bile su više u RK1 i kretale su se oko srednje vrijednosti od $384.75 \pm 9.41 \mu\text{S/cm}$, a u RK2 oko srednje vrijednosti od $309.75 \pm 7.52 \mu\text{S/cm}$ (sl. 3e). Vrijednosti *ukupnih otopljenih tvari* (TDS) u RK1 kretale su se oko srednje vrijednosti $184.43 \pm 3.92 \text{ mg/L}$, a u RK2 su one bile znatno niže, $148.79 \pm 3.58 \text{ mg/L}$ (sl. 3f). Za oba navedena čimbenika vrijednosti su bile veće u RK1 nego u RK2, što je rezultiralo statistički značajnim razlikama ($N_{\text{RK1, RK2}} = 8$; $Z = 3.36$; $p = 0.001$).

Prozirnost stupca vode tijekom istraživnog razdoblja je bila veća u RK2 nego u RK1. Srednja vrijednost prozirnosti iznosila je u RK1 $0.51 \pm 0.025 \text{ m}$, a u RK2 $0.78 \pm 0.15 \text{ m}$ (sl. 3g). Rezultati Mann-Whitney U testa ukazuju da su razlike u prozirnosti stupca vode između RK1 i RK2 bile statistički značajne ($N_{\text{RK1, RK2}} = 8$; $Z = -3.36$; $p = 0.001$). Na prozirnost vode u RK1 utjecala je količina suspendiranih organskih tvari, na što ukazuje statistički značajna negativna korelacija prozirnosti vode i AFDW ($r = -0.77$; $p < 0.05$). *Stupanj trofije* rukavaca, izračunat na temelju prozirnosti vode, opisuje sustave kao granično eutrofne do politrofne (srednja vrijednost TSI_{SD} RK1 69.66 ± 0.69 ; RK2 63.89 ± 2.88).



Slika 3. Razlike između fizičko-kemijskih čimbenika u istraživanim rukavcima: a) temperatura; b) koncentracija otopljenog kisika; c) alkalinitet; d) pH; e) konduktivitet; f) ukupne otopljene tvari (TDS); g) prozirnost vode. \square srednja vrijednost; \perp minimum i maksimum.

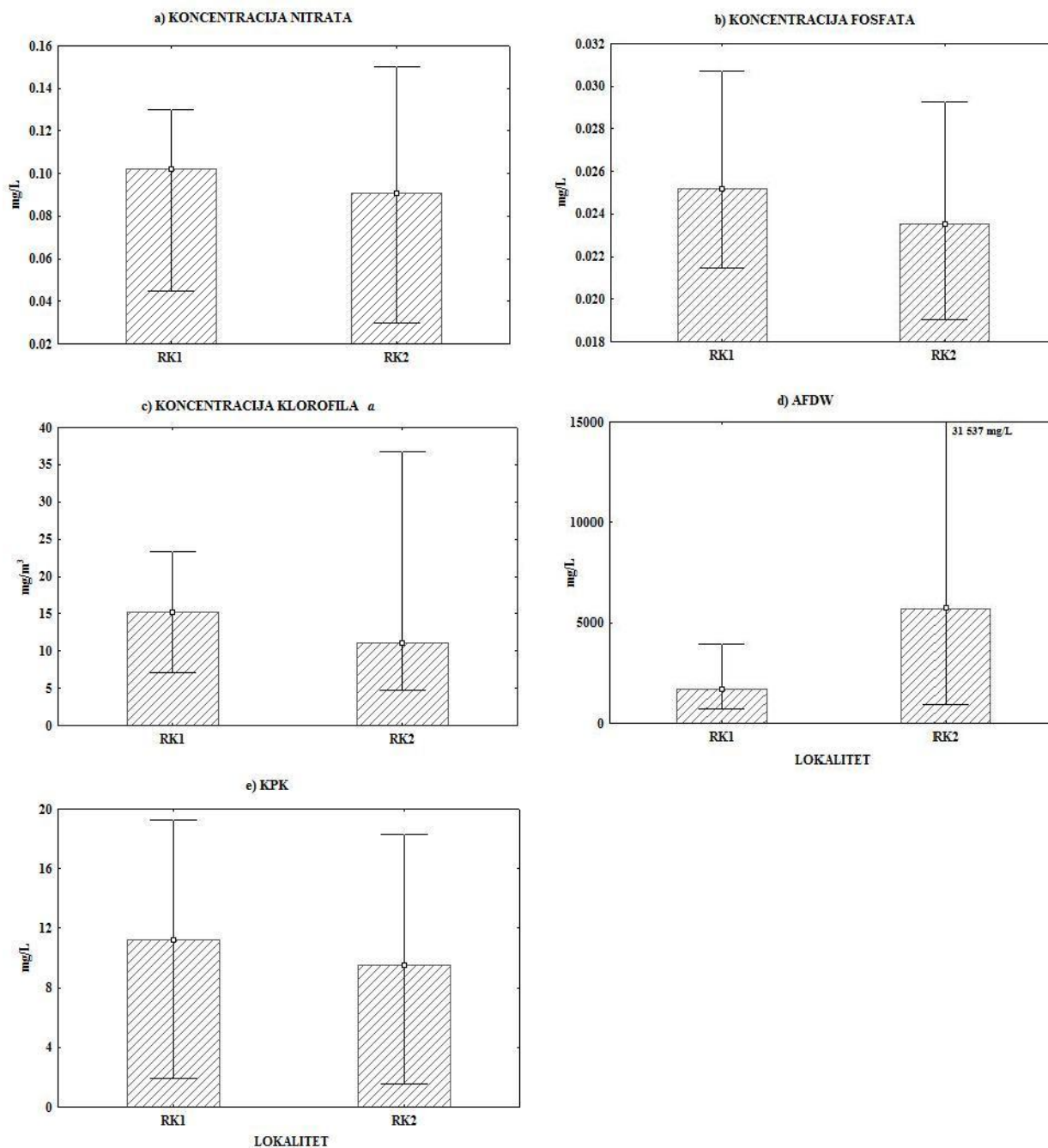
4.2 Hranjive tvari i izvori hrane



U ljetnom razdoblju utvrđene su niske *koncentracije nitrata* i *orto-fosfata*. Koncentracije nitrata su se kretale u rasponu od 0.03 do 0.15 mg N-NO₃-/L, srednja vrijednost u RK1 je iznosila 0.10 ± 0.03 mg N-NO₃-/L, a u RK2 0.09 ± 0.04 mg N-NO₃-/L (sl. 5a). Koncentracije orto-fosfata kretale su se u nešto užem rasponu, od 0.019 mg P-PO₄-/L do 0.031 mg P-PO₄-/L; srednja vrijednost u RK1 iznosila je 0.025 ± 0.003 mg P-PO₄-/L, a u RK2 0.0246 ± 0.004 mg P-PO₄-/L, (sl. 5b).

Koncentracije klorofila a u RK1 kretale su se oko srednje vrijednosti od 13.8 ± 5.2 mg/m³, a u RK2 oko 11.2 ± 10.63 mg/m³. Koncentracije orto-fosfata značajno su utjecale na koncentraciju klorofila *a* na istraživanoj postaji P1, na što ukazuje statistički značajna pozitivna korelacija ($r = 0.8$; $p < 0.05$). Na postaji L2 u rujnu zabilježena je ekstremna vrijednost od 36.7 mg/m³, koja je izuzeta iz analize rezultata te je srednja vrijednost klorofila *a* u RK2 iznosila 7.2 ± 2.6 mg/m³ (sl. 5c). U istraživanju je zabilježena razlika koncentracije klorofila *a* između rukavaca bila na granici statističke značajnosti (Mann-Whitney U test, $N_{RK1, RK2} = 8$; $Z = 1.89$; $p = 0.05$).

Vrijednosti *koncentracije suspendiranih organskih tvari*, mjerene kao AFDW, varirale su oko srednje vrijednosti od 1690.0 ± 1161.5 mg AFDW/L u RK1, a u RK2 su se kretale oko srednje vrijednosti od 2087.2 ± 759.4 mg AFDW/L, s izuzećem ekstremne vrijednosti 31536.7 mg AFDW/L izmjerene u rujnu (sl. 5d).

Koncentracije otopljene organske tvari, mjerene kao KPK, su se na svim postajama smanjivale od početaka srpnja do kolovoza, na vrijednosti od približno 2.00 mg O₂/L, nakon čega je zabilježen nagli porast u rujnu, do vrijednosti od oko 20 mg O₂/L (sl. 5e).



Slika 5. Razlike nutrijenata i hranjivih tvari u istraživanim rukavcima: a) koncentracija nitrata; b) koncentracija fosfata; c) koncentracija klorofila *a*; d) AFDW; e) KPK.  srednja vrijednost;  minimum i maksimum.

4.3 Kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktona

4.3.1 Sastav zooplanktona u rukavcu s manjom prozirnošću vode - rukavac Krapine 1 (RK1)

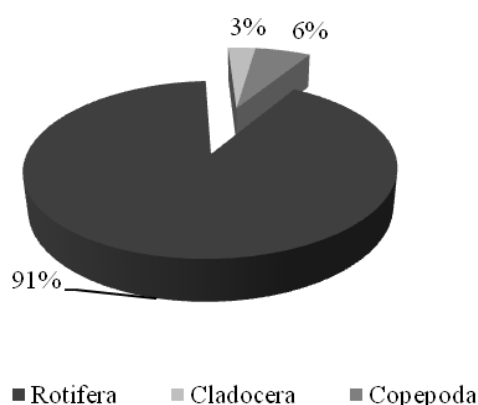
Promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava zooplanktona tijekom ljetnog razdoblja na istraživanim postajama u RK1 prikazane su u tablici 3. U RK1 determinirano je ukupno 29 svojti, od čega 25 svojti kolnjaka, 3 svojte veslonožaca i jedna svojta rašljoticalaca. Broj svojti bio je veći na postaji L1 (29) nego na postaji P2 (23), a na obje postaje kolnjaci su najviše pridonijeli raznolikosti. Sørensenov indeks ukazuje na to da je između istraživanih postaja, P1 i L1, sličnost sastava svojti iznosila 86%. Udio kolnjaka u ukupnoj brojnosti zooplanktona RK1 bio je 91%, veslonožaca 6%, a rašljoticalaca 3% (sl. 6). Na obje postaje zabilježen je trend porasta ukupne brojnosti zooplanktona, koji se od početka srpnja prema rujnu višestruko povećao (sl. 7a i b).

Tijekom istraživanog razdoblja kolnjaci su najviše pridonijeli ukupnoj brojnosti zooplanktona, na P1 86%, a na L1 čak 96% (sl. 8a i 8b). Među kolnjacima, na obje su postaje najbrojnije bile vrste roda *Polyarthra* (P1 56%, L1 55% u brojnosti kolnjaka) sa statistički značajnom razlikom u horizontalnoj raspodjeli (Mann-Whitney U test, $N_{P1, L1} = 8$; $Z = 2$; $p = 0.04$). Na postaji P1 veću brojnost postigla je i vrsta *Keratella cochlearis* (udio 9% u brojnosti kolnjaka), na što je značajno pozitivno utjecala količina suspendiranih organskih tvari ($r = 0.8$; $p < 0.05$) (Tablica 4). Vrsta *Lecane lunaris* bila je na obje postaje vrlo brojna te je njen udio u brojnosti kolnjaka iznosio na P1 11%, a na L1 18%. Na postaji L1 samo je još vrsta *Trichocerca bicristata* (6%) značajnije pridonijela brojnosti kolnjaka.

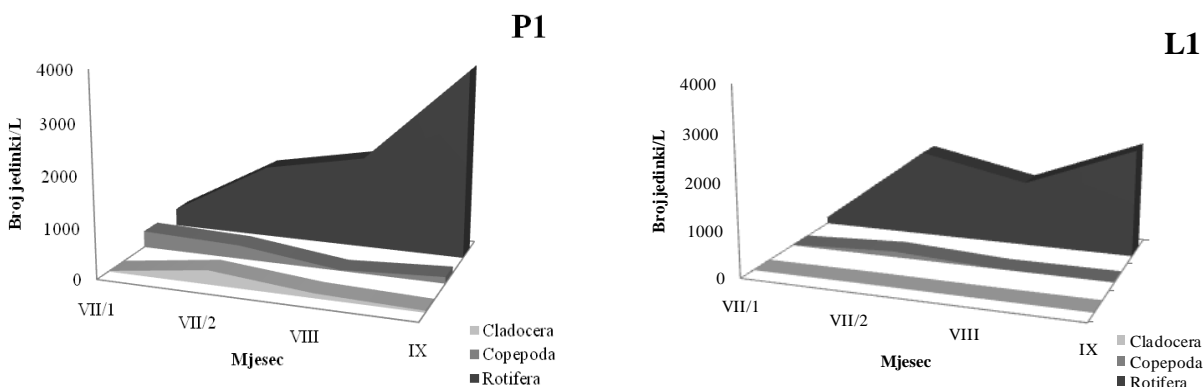
Mann-Whitney U test sugerira da su razlike brojnosti veslonožaca između postaja P1 i L1 bile statistički značajne ($N_{P1, L1} = 8$; $Z = 2$; $p = 0.4$). Veslonošci su bili zastupljeni uglavnom s ličinačkim stadijima, a kopepoditi su zabilježili statistički značajne razlike u horizontalnoj raspodjeli između postaja P1 i L1 (Mann-Whitney U test: $N_{P1, L1} = 8$; $Z = 2.4$; $p = 0.04$). Kopepoditi su, kao i cijela skupina veslonožaca, na postaji P1 bili u statistički značajnoj pozitivnoj korelaciji s koncentracijom klorofila *a* ($r = 0.80$; $p < 0.05$) (Tablica 4). Negativnu

korelaciju ($r = -0.8$; $p < 0.05$) između veslonožaca i kolnjaka roda *Polyarthra* na postaji P1 pripisujem predaciji veslonožaca (Tablica 4).

Mann-Whitney U test pokazuje da su razlike u horizontalnoj raspodjeli rašljoticalaca, odnosno jedine zabilježene vrste *Bosmina longirostris*, između slobodne vode i litorala bile statistički značajne ($N_{P1, L1} = 8$; $Z = 2.3$; $p = 0.2$). Na P1 ova je vrsta postigla veću brojnost pri manjoj prozirnosti ($r = -0.77$, $p < 0.05$) i pri većoj koncentraciji hrane (korelacija *Bosmina longirostris* – AFDW: $r = 0.80$; $p < 0.05$) (Tablica 4).



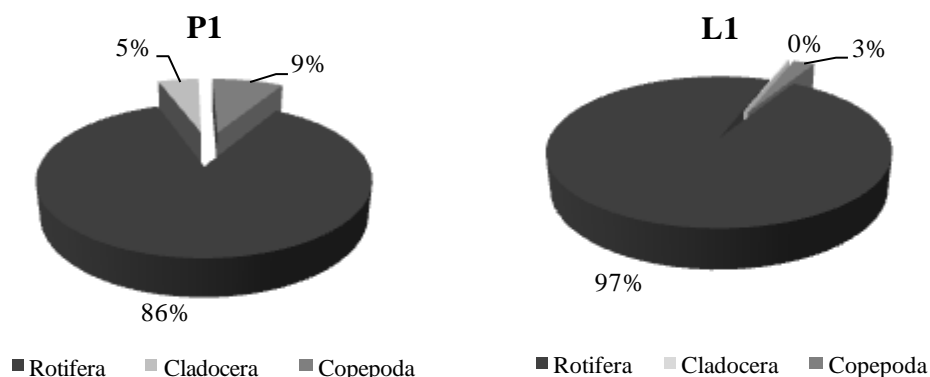
Slika 6. Udio Rotifera, Cladocera i Copepoda u brojnosti zooplanktona u rukavcu Krapina 1 (RK1).



Slika 7. Promjene brojnosti Rotifera, Cladocera i Copepoda u zooplanktonu tijekom ljetnog razdoblja u slobodnoj vodi (P1) i litoralu (L1).

Tablica 3. Kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktona na istraživanim postajama P1 i L1

		P1				L1			
Mjesec		VII./1	VII./2	VIII.	IX.	VII./1	VII./2	VIII.	IX.
Skupina	Takson	Broj jedinki/L				Broj jedinki/L			
Rotifera	<i>Ascomorpha saltans</i>		7.89	9.33	18.00		22.00		34.00
	<i>Asplanchna priodonta</i>	3.33	96.24	31.73	166.00	4.00	32.00	10.89	22.00
	<i>Bdelloidea</i>	1.67	18.93	22.40	28.00	6.00	64.00	10.89	12.00
	<i>Brachionus angularis</i>				14.00				18.00
	<i>Brachionus budapestensis</i>					2.00			
	<i>Brachionus calciflorus</i>							2.18	
	<i>Brachionus diversicornis</i>					10.00			
	<i>Brachionus patulus</i>					10.00	8.00		
	<i>Brachionus quadridentatus</i>	1.67					2.00		
	<i>Dicranophorus caudatus</i>							6.53	2.00
	<i>Filinia longiseta</i>	1.67	217.73	11.20	90.00		158.00	2.18	18.00
	<i>Gastropus stylifer</i>		14.20		4.00		12.00		4.00
	<i>Hexarthra mira</i>				6.00				14.00
	<i>Keratella cochlearis</i>	68.33	149.89	140.00	306.00	6.00	92.00	10.89	82.00
	<i>Keratella cochlearis f. tecta</i>			416.27	130.00			78.40	48.00
	<i>Lecane luna</i>			3.73	8.00		18.00	6.53	2.00
	<i>Lecane lunaris</i>	1.67	7.89	196.00	614.00		10.00	494.36	524.00
	<i>Notomata aurita</i>						2.00		
	<i>Ploesoma hudsoni</i>			1.87			2.00		
	<i>Polyarthra spp.</i>	261.67	803.09	851.20	2228.00	36.00	1170.00	598.89	1364.00
	<i>Pompholyx sulcata</i>			117.60	72.00			45.73	82.00
Cladocera	<i>Synchaeta pectinata</i>			3.73	4.00			2.18	14.00
	<i>Trichocerca bicristata</i>	1.67	61.53	11.20	30.00	58.00	270.00		20.00
	<i>Trichocerca capucina</i>	1.67	3.16	9.33	10.00	2.00	6.00	19.60	2.00
	<i>Trichocerca longiseta</i>	15.00	82.04	14.93	22.00	14.00	32.00	126.31	70.00
	Rotifera ukupno	358.33	1462.60	1840.53	3750.00	148.00	1900.00	1415.56	2332.00
Cladocera	<i>Bosmina longirostris</i>	13.33	280.84	95.00	38.00	4.00	12.00		
Cladocera ukupno		13.33	280.84	95.00	38.00	4.00	12.00	0.00	0.00
Copepoda	<i>Cyclops sp.</i>	13.33	1.58		2.00	4.00			
	koepodit	116.67	55.22	5.60	44.00	4.00	6.00		
	nauplij	203.33	214.58	13.07	84.00	8.00	118.00	2.18	8.00
Copepoda ukupno		333.33	271.38	18.67	130.00	16.00	124.00	2.18	8.00
UKUPNO ZOOPLANKTON		705.00	2014.82	1954.20	3918.00	168.00	2036.00	1417.73	2340.00



Slika 8. Udio Rotifera, Cladocera, Copepoda u brojnosti zooplanktona na istraživanim postajama P1 i L1.

Tablica 4. Spearmanov koeficijent korelacije biotičkih i abiotičkih čimbenika u RK1 ($p < 0,05$)

RK1 - P1		r
<i>Keratella cochlearis</i> (jed/L)	AFDW (mg/L)	0.80
<i>Bosmina longirostis</i> (jed/L)	AFDW (mg/L)	0.80
Copepoda (jed/L)	koncentracija klorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0.80
kopepoditi (jed/L)	koncentracija klorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0.80
Copepoda (jed/L)	<i>Polyarthra</i> spp. (jed/L)	-0.80
<i>Bosmina longirostis</i> (jed/L)	prozirnost vode (m)	-0.77

4.3.2 Sastav zooplanktona u rukavcu s većom prozirnošću vode - rukavac Krapina 2 (RK2)

Promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava zooplanktona tijekom ljeta na istraživanim postajama u RK2 prikazane su u tablici 5. U RK2 determinirano je ukupno 29 svojti, od čega 23 iz skupine Rotifera, a po 3 svojte iz skupina Copepoda i Cladocera. Najveću raznolikost pokazali su predstavnici kolnjaka (20 svojti u P1 i 21 u L1). Sørensenov indeks ukazuje na to da je između P2 i L2 sličnost sastava svojti iznosila 89%. Udio kolnjaka u ukupnoj brojnosti zooplanktona RK2 bio je 68%, veslonožaca 25%, a rašljoticalaca 7% (sl. 9). Najmanja brojnost zooplanktona na obje postaje zabilježena je početkom srpnja (P2 247 jedinki/L; L2 307 jedinki/L), a najveća sredinom ljeta, na P2 krajem srpnja (996 jedinki/L), a na L2 u kolovozu (719 jedinki/L).

Kolnjaci su na obje postaje bili najbrojnija skupina zooplanktona (P2 66%; L2 71%) (sl. 11a i b). U P2 najzastupljenije su bile algivorne vrste roda *Polyarthra* koje su statistički značajno pozitivno korelirale s koncentracijom klorofila *a*, kao indikatorom biomase fitoplanktona ($r = 0.8$; $p < 0.05$), dok su na L2 bile manje zastupljene (Tablica 6). Brojnosti kolnjaka u slobodnoj vodi značajnije je doprinijela i vrsta *Keratella cochlearis*. Brojnost jedinki vrsta roda *Trichocerca* bila je veća u slobodnoj vodi, gdje je pokazala pozitivnu korelaciju s koncentracijom klorofila *a* ($r = 0.8$; $p < 0.05$) (Tablica 6). U litoralu nije bilo vrsta koje su se izdvajale brojnošću, a u sastavu su prevladavale semiplanktonske vrste *Trichocerca longiseta* (17%), *Brachionus patulus* (15%), *Lecane lunaris* (10%) te skupina Bdelloidea (14%) (Tablica 5).

Ukupnoj brojnosti zooplanktona veslonošci su doprinijeli udjelom od 24% na P2 i 25% na L2, uglavnom nauplijskim razvojnim stadijem (sl. 11a i b). Brojnost ličinačkog stadija kopepodita na L2 bila je u pozitivnoj korelaciji s prozirnošću vode ($r = 0.95$; $p < 0.05$), što ukazuje na predacijski pritisak riba na veslonošce u slobodnoj vodi (Tablica 6).

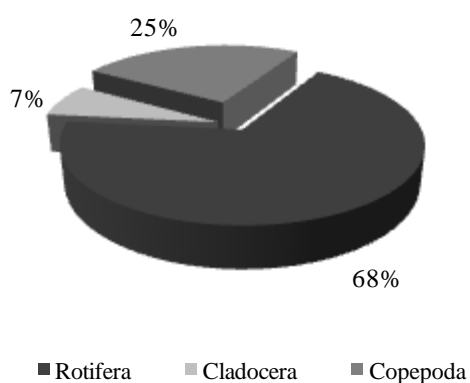
Rašljoticalci su se značajno razlikovali u prostornom rasporedu brojnosti (Mann-Whitney U test: $N_{P1, L1} = 8$; $Z = 2$; $p = 0.04$). Na P2 najbrojnija je bila vrsta *Ceriodaphnia quadrangula* s udjelom od 7% u ukupnoj brojnosti zooplanktona. Na postaji L2 rašljoticalci su uspostavili statistički značajnu pozitivnu korelaciju s prozirnošću vode ($r = 0.8$; $p < 0.05$), kao i vrsta *Ceriodaphnia quadrangula* ($r = 0.95$; $p < 0.05$), što također ukazuje na predacijski pritisak riba u slobodnoj vodi (Tablica 6).

Tablica 5. Kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktona na istraživanim postajama P2 i L2

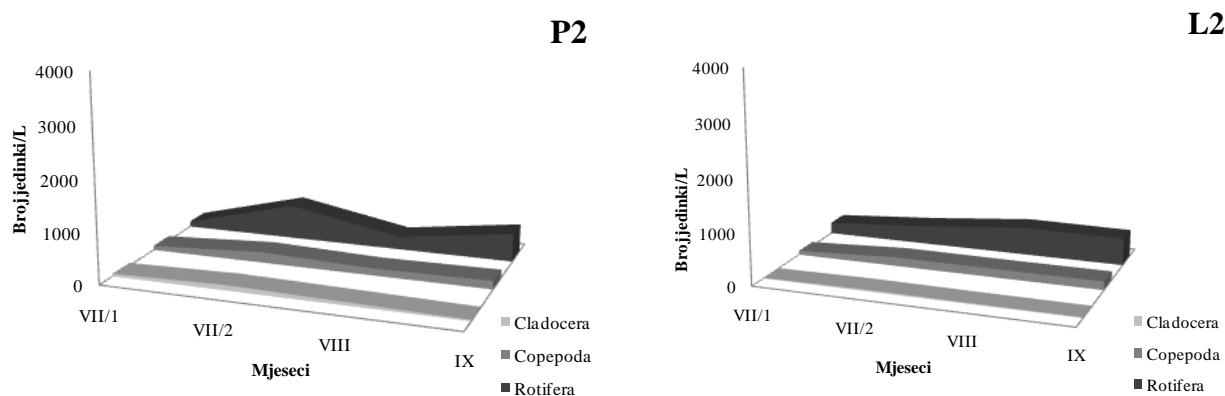
		P2				L2			
		VII./1	VII./2	VIII.	IX.	VII./1	VII./2	VIII.	IX.
Skupina	Takson	Broj jedinki/L				Broj jedinki/L			
Rotifera	<i>Ascomorpha saltans</i>		1.78		8.09			3.27	20.00
	<i>Asplanchna priodonta</i>	8.71	3.56				3.82	3.27	
	<i>Bdelloidea</i>	2.49	21.33	4.76	6.07	3.73	13.38	3.27	204.00
	<i>Brachionus angularis</i>				2.02				4.00
	<i>Brachionus diversicornis</i>	1.24							
	<i>Brachionus patulus</i>		5.33		2.02	89.60	118.49	35.93	
	<i>Brachionus quadridentatus</i>					2.49			
	<i>Dicranophorus caudatus</i>							3.27	
	<i>Filinia longiseta</i>		85.33	7.13	4.04	1.24	19.11	13.07	
	<i>Gastropus styliifer</i>		1.78		20.22	1.24	3.82	13.07	16.00
	<i>Keratella cochlearis</i>		64.00	78.47	54.60	9.96	22.93	35.93	
	<i>Keratella cochlearis tecta</i>			2.38	2.02			3.27	
	<i>Lecane luna</i>					2.49		6.53	64.00
	<i>Lecane lunaris</i>		8.89	90.36	145.60	8.71	24.84	107.80	24.00
	<i>Monomata longiseta</i>							3.27	
	<i>Ploesoma hudsoni</i>				2.02	1.24			
	<i>Polyarthra</i> spp.	18.67	375.11	47.56	230.53	6.22	40.67	49.00	48.00
	<i>Pompholyx sulcata</i>				2.02			45.73	100.00
	<i>Squatinella mutica</i> f. <i>tridentata</i>	1.24							
	<i>Synchaeta pectinata</i>		1.78		2.02		5.73	6.53	
	<i>Trichocerca bicristata</i>	13.69	33.78		2.02	14.93	28.67	65.33	20.00
	<i>Trichocerca capucina</i>	8.71	7.11	2.38	4.04	2.49		13.07	8.00
	<i>Trichocerca longiseta</i>	29.87	71.11	28.53	74.82	73.42	74.53	124.13	12.00
Rotifera ukupno		109.51	680.89	261.56	562.18	217.78	356.00	535.73	520.00
Cladocera	<i>Alona costata</i>	2.49	1.78			4.98			
	<i>Bosmina longirostris</i>	28.62	26.67	7.13	4.04	2.49	15.29	3.27	16.00
	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	19.96	76.44	59.44	20.22	4.98	15.29	16.33	
Cladocera ukupno		51.07	104.89	66.58	24.27	12.44	30.58	19.60	16.00
Copepoda	<i>Cyclops</i> sp.	2.49	17.78	19.02	2.02	3.73	11.47	26.13	4.00
	koepodit	6.22	33.78	16.64	14.16	12.44	36.31	19.60	12.00
	nauplij	78.40	158.22	104.62	147.62	60.98	122.31	117.60	148.00
Copepoda ukupno		87.11	209.78	140.29	163.80	77.16	170.09	163.33	164.00
UKUPNO ZOOPLANKTON		247.69	995.56	468.42	750.24	307.38	556.67	718.67	700.00

Tablica 6. Spearmanov koeficijent korelacije između skupina i vrsta te abiotičkih čimbenika i izvora hrane u RK2 ($p < 0.05$)

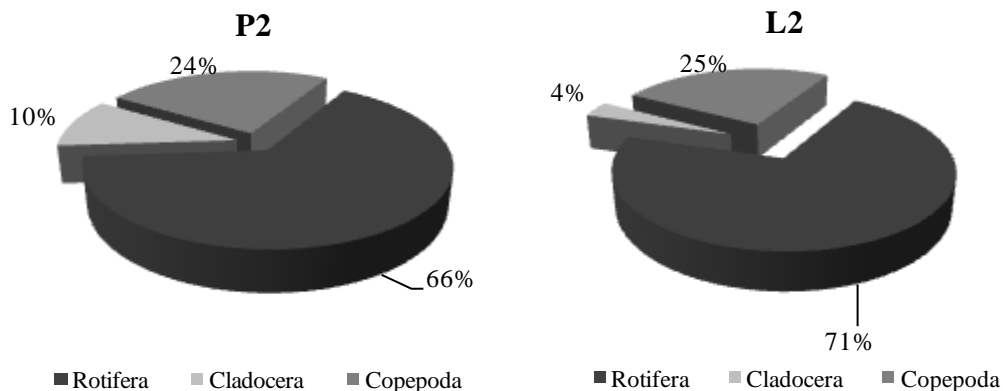
RK2 – P2		r
<i>Polyarthra</i> spp. (jed/L)	koncentracija klorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0.80
roda <i>Trichocerca</i> (jed/L)	koncentracija klorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0.80
RK2 – L2		r
Kopepoditi (jed/L)	prozirnost vode (m)	0.95
Cladocera (jed/L)	prozirnost vode (m)	0.80
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (jed/L)	prozirnost vode (m)	0.95



Slika 9. Udio Rotifera, Cladocera i Copepoda u brojnosti zooplanktona u rukavcu Krapina 2 (RK2).



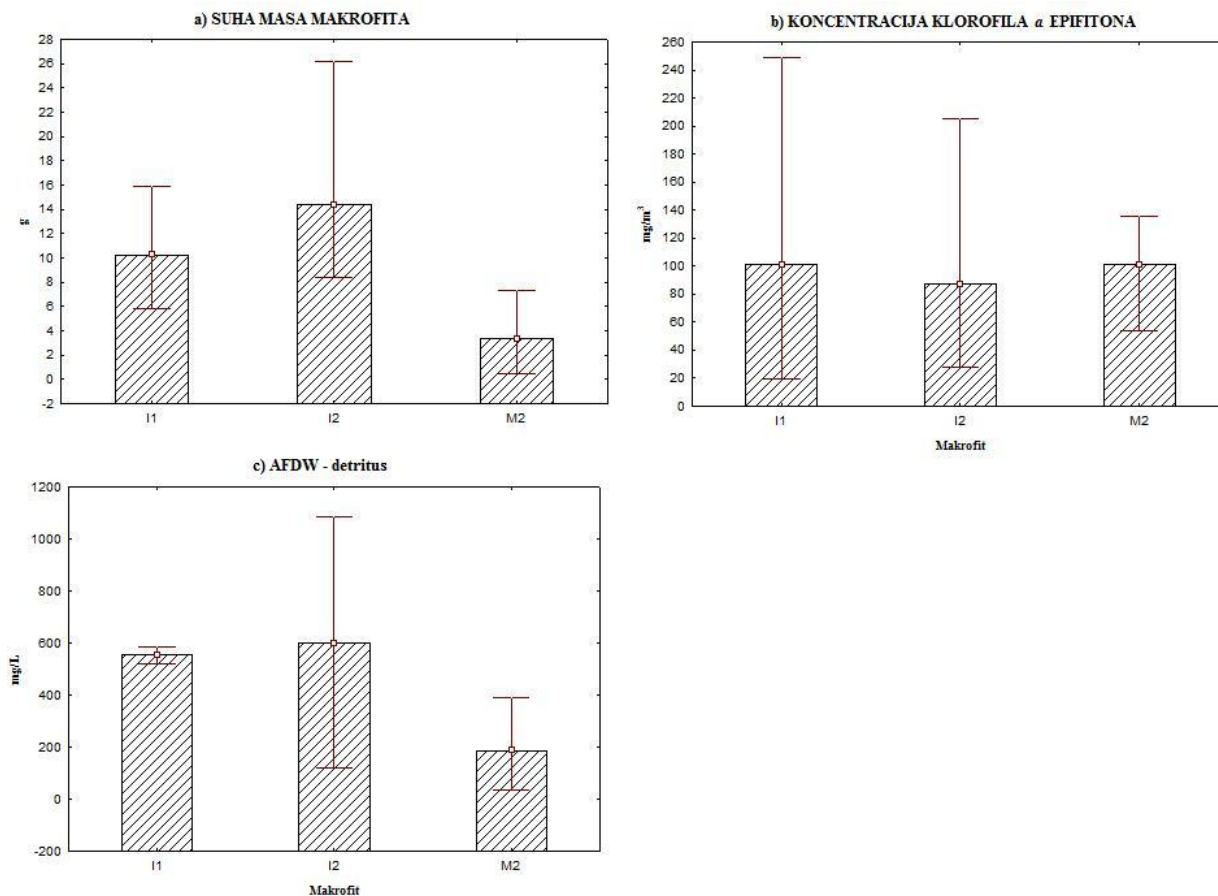
Slika 10. Promjene brojnosti Rotifera, Cladocera i Copepoda u zooplanktonu tijekom ljetnog razdoblja u slobodnoj vodi (P2) i litoralu (L2).



Slika 11. Udio Rotifera, Cladocera, Copepoda u brojnosti zooplanktona na istraživanim postajama P2 i L2.

4.4 Kvalitativni i kvantitativni sastav epifitona

U epifitonu su determinirane ukupno 24 svojte, među kojima su također, sa 19 svojti, dominirali Rotifera, dok su Cladocera i Copepoda bili zastupljeni sa svega dvije odnosno tri svojte. Sørensenov indeks sličnosti ukazuje na sličnost svojti epifitona na stabljikama iste vrste (I1 i I2), ali na različitim lokalitetima bila je 64%. Sørensenov indeks sličnosti epifitona na stabljikama različitih vrsta, ali u istom jezeru (I2 i M2) iznosila je 88%. Sličnost sastava zooplanktona litorala i epifitona bila je veća u RK2, 76% (za L2 - I2 i L2 - M2), dok je u RK1, između L1 i I1, ova vrijednost iznosila samo 49%. Na sastav i brojnost epifitona utjecala je veličina stabljike na kojoj se razvijao epifiton, mjerena kao suha masa biljke, te raspoloživost hrane: epifitonskih algi (mjereno koncentracijom klorofila *a*) i epifitonskog detritusa (mjereno kao AFDW), što proizlazi iz korelacija brojnosti i raznolikosti epifitona s navedenim parametrima (sl. 12, Tablica 7).



Slika 12. Oscilacije a) suhe mase makrofita (DW_{mf}); b) koncentracije klorofila *a* epifitona ($chl\ a_{ef}$); c) količine detritusa u epifitonu ($AFDW_{ef}$). \square srednja vrijednost; \perp minimum i maksimum.

4.4.1 Sastav epifitona u rukavcu s uskom litoralnom zonom i makrofitima jednostavne stabljike

U epifitonu I1 je određeno ukupno 13 svojti, 9 iz skupine Rotifera i po 2 iz skupina Copepoda i Cladocera. Najviše svojti zabilježeno je krajem srpnja (12), a najmanje u kolovozu (4), kada je utvrđena i najmanja ukupna brojnost jedinki epifitona ($379\ jed/g\ DW_{mf}$). Najveća brojnost jedinki zabilježena je početkom srpnja, $1653\ jed/g\ DW_{mf}$ (Tablica 8). Zabilježena je statistički značajna pozitivna korelacija brojnosti svojti i koncentracije klorofila *a* iz epifitona koji niz vrsta zooepifitona koristi za hranu ($r = 0.99$; $N = 3$) (Tablica 7). Također je zabilježena korelacija

brojnosti svojti i suhe mase makrofita ($r = 0.98$; $N = 3$), koja sugerira da je veličina površine makrofita važna za raznolikost sastava zoopifitona (Tablica 7).

Brojnošću su u epifitonu irisa dominirali kolnjaci (97%), dok su znatno manje bili zastupljeni veslonošci (2%) i rašljoticalci (1%) (sl. 12). Dominantna vrsta Rotifera bila je *Ascomorpha saltans* (81%), a znatno manje brojna bila je vrsta *Lecane lunaris*. Za rod *Lecane* je iskazana negativna korelacija s detritusom iz epifitona ($r = -0.8$; $N = 3$), što sugerira da hranjenjem utječu na smanjenje raspoložive hrane (Tablica 7). U skupini Copepoda bili su prisutni samo juvenilni stadiji kopepoditi i naupliji koji su hranjenjem utjecali na raspoloživost resursa, što je sugerirano negativnim korelacijama brojnosti nauplija i epifitonskog klorofila *a* ($r = -0.99$; $N = 3$) (Tablica 7). Rašljoticalci su nađeni samo krajem srpnja. Najbrojnija je bila vrsta *Bosmina longirostris* čija je brojnost pozitivno korelirala sa suhom masom makrofita ($r = 0.94$; $N = 3$), (Tablica 7).

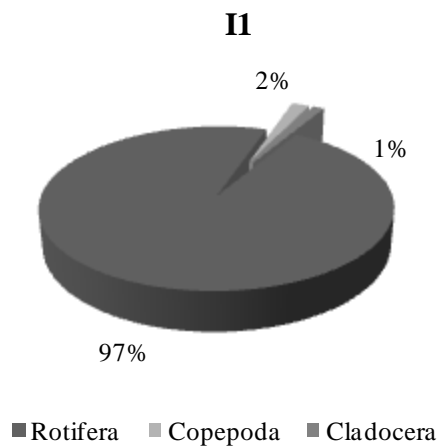
Usporedbom sastava vrsta epifitona i zooplanktona između makrofita utvrđen je statistički značajno veći broj vrsta u litoralnoj zoni nego u epifitonu (Mann-Whitney U test: $Z = 1.96$; $N_{I1,L1} = 3$; $p = 0.05$), a također je i Shannon-Wienerov indeks bio statistički značajno veći u L1 nego u I1 (Mann-Whitney U test: $Z = 1.96$; $N_{I1,L1} = 3$; $p < 0.05$).

Tablica 7. Spearmanov koeficijent korelacije između skupina i vrsta te abiotičkih čimbenika i izvora hrane u epifitonu RK1 ($p < 0.05$)

I1		r
brojnost svojti	koncentracija klorofila <i>a</i> (mg/m ³)	0.99
naupliji (jed/g DW _{mf})	koncentracija klorofila <i>a</i> (mg/m ³)	-0.90
brojnost svojti	suha masa makrofita (g DW _{mf})	0.98
<i>Bosmina longirostris</i> (jed/g DW _{mf})	suha masa makrofita (g DW _{mf})	0.94
rod <i>Lecane</i> (jed/g DW _{mf})	AFDW (mg/L)	-0.80

Tablica 8. Kvalitativni i kvantitativni sastav vrsta u epifitonu perunike (I1)

Mjesec		VII./1	VII./2	VIII.
Skupina	Takson	Broj jedinki/g suhe tvari biljke		
Rotifera	<i>Ascomorpha saltans</i>	1252.96	876.92	335.77
	<i>Asplanchna priodonta</i>		5.95	
	<i>Cephalodella gibba</i>		5.95	
	<i>Filinia longiseta</i>		5.95	
	<i>Keratella cochlearis</i>		11.89	21.70
	<i>Lecane luna</i>	35.11	94.38	
	<i>Lecane lunaris</i>	259.97	5.95	10.85
	<i>Trichocerca bicristata</i>		35.67	
	<i>Trichocerca longiseta</i>	59.77	11.89	
Rotifera ukupno		1607.81	1054.54	368.32
Copepoda	kopepodit	35.11		
	nauplij	10.45	5.95	10.85
Copepoda ukupno		45.56	5.95	10.85
Cladocera	<i>Alona costata</i>		5.95	
	<i>Bosmina longirostris</i>		35.67	
Cladocera ukupno		0.00	41.62	0.00
EPIFITON UKUPNO		1653.37	1102.10	379.18



Slika 13. Udio Rotifera, Cladocera i Copepoda u brojnosti epifitona na irisu (I1).

4.4.2 Sastav epifitona u rukavcu sa širom litoralnom zonom i makrofitima veće složenosti stabljike

U epifitonu irisa (I2) i mente (M2) determiniran je podjednak broj svojti (I2 21, M2 20 svojti), među kojima su također dominirali Rotifera (Tablica 9). U epifitonu je nađeno statistički značajno manje vrsta nego u litoralu, L2 (za oba epifitona I2 i M2 Mann-Whitney U test: $Z = 1.96$; $N = 3$; $p = 0.05$). Najviše svojti zabilježeno je u srpnju, a najmanje u kolovozu (Tablice 9). Znatno više nego u kvalitativnom sastavu, epifiton I2 i M2 oscilirao je u kvantitativnom sastavu (Tablice 9). Zabilježena je veća brojnost jedinki na menti no na irisu. U oba epifitona brojnost vrsta je korelirala s koncentracijom klorofila *a* (I2: $r = -0.93$; $N = 3$; M2: $r = -0.90$; $N = 3$), što ukazuje na obilno iskorištavanje epifitskih algi za hranu zooepifitona (Tablica 10).

Slika 13 prikazuje da su kolnjaci dominirali u uzorcima epifitona obaju makrofita (I2 86%, M2 82% ukupne ubrojnosti epifitona). Rotifera su na irisu negativno korelirali s detritusom ($r = -0.94$; $N = 3$), što ukazuje na smanjenje količine resursa uslijed intenzivnog iskorištavanja za hranu (Tablica 10). To potvrđuje i velika brojnost detritovorne vrste roda *Lecane* kojih je udio u ukupnoj brojnosti epifitona u M2 bio 44%. Na I2 su vrste roda *Lecane* imale nešto manju brojnost, ali su također bile u negativnoj korelaciji s detritusom ($r = -0.97$; $N = 3$), što ukazuje na intenzivno hranjenje i smanjenje raspoložive količine resursa (Tablica 10). Skupina Bdelloidea također je zabilježila povećanu brojnost u epifitonu I2 i M2.

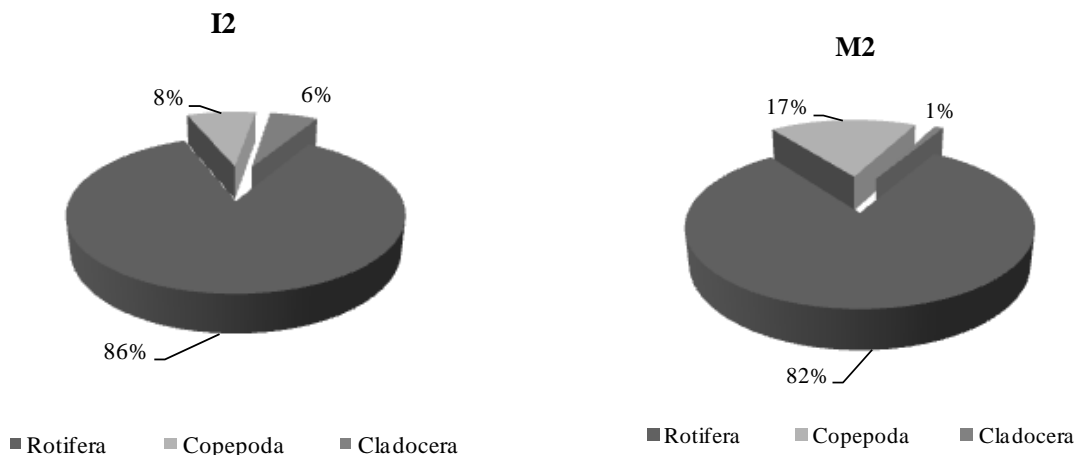
Copepoda su, prvenstveno nauplijskim stadijima, pridonijeli ukupnoj brojnosti u epifitonu, posebice u M2 (Tablica 9). Rašljoticalci su bili brojniji na irisu (Tablica 9). U epifitonu I2 i M2 vrsta *Bosmina longirostris* je statistički značajno korelirala s detritusom, koji koristi za hranu. Na M2, gdje je bila prisutna u manjoj brojnosti, korelirala je pozitivno ($r = 0.96$; $N = 3$), čime se ukazuje na to da porast količine detritusa potiče porast brojnosti vrste *Bosmina longirostris*, dok je negativna korelacija na I2 ($r = -0.86$; $N = 3$) sugerirala da je brojnost vrste *Bosmina longirostris* utjecala na smanjenje raspoloživosti resursa (Tablica 10).

Tablica 9. Kvalitativni i kvantitativni sastav epifitona na I2 i M2

Mjesec		I2			M2		
		VII./1	VII./2	VIII.	VII./1	VII./2	VIII.
Skupina	Takson	Broj jedinki/g suhe tvari biljke			Broj jedinki/g suhe tvari biljke		
Rotifera	Bdelloidea	520.53	54.56	36.68	186.00	128.49	1608.04
	<i>Ascomorpha saltans</i>	173.51					
	<i>Asplanchna priodonta</i>	520.53			62.00	53.92	
	<i>Brachionus patulus</i>	520.53	138.81		62.00	18.64	
	<i>Colurella obtusa</i>		3.11				804.02
	<i>Fillinia longiseta</i>				222.59		
	<i>Gastropus stylifer</i>	520.53	3.11	220.06	62.00	18.64	804.02
	<i>Keratella cochlearis</i>	173.51	3.11			91.20	804.02
	<i>Keratella cochlearis tecta</i>			36.68			
	<i>Lecane luna</i>	173.51	22.62	330.09	284.59		4020.10
	<i>Lecane lunaris</i>	520.53	51.45	183.39	62.00		4020.10
	<i>Ploesoma hudsoni</i>	173.51			111.30		
	<i>Polyarthra</i> spp.	173.51					804.02
	<i>Pompholyx sulcata</i>			146.71			804.02
	<i>Scaridium longicaudum</i>		3.11			53.92	
	<i>Trichocerca bicristata</i>		3.11		111.30	18.64	
	<i>Trichocerca capucina</i>		3.11				
	<i>Trichocerca longiseta</i>	347.02	3.11		62.00	252.95	
Rotifera ukupno		3817.25	289.22	953.61	1225.77	636.40	13668.34
Copepoda	kopepodit		11.31		507.18	72.56	
	nauplij	347.02	62.76	73.35	1868.15	37.29	804.02
Copepoda ukupno		347.02	74.07	73.35	2375.33	109.85	804.02
Cladocera	<i>Alona costata</i>	173.51			111.30		
	<i>Bosmina longirostris</i>	173.51				53.92	
	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>					37.29	
Cladocera ukupno		347.02	0.00	0.00	111.30	91.20	0.00
EPIFITON UKUPNO		4511.29	363.29	1026.96	3712.39	837.45	14472.36

Tablica 10. Spearmanov koeficijent korelacije između skupina i vrsta te abiotičkih čimbenika i izvora hrane u epifitonu RK2 ($p < 0.05$)

I2		r
Brojnost svojti	koncentracija klorofila <i>a</i> (mg/m ³)	-0.93
Rotifera (jed/g DW _{mf})	AFDW (mg/L)	-0.94
rod <i>Lecane</i> (jed/g DW _{mf})	AFDW (mg/L)	-0.97
<i>Bosmina longirostris</i> (jed/g DW _{mf})	AFDW (mg/L)	-0.86
M2		r
Brojnost svojti	koncentracija klorofila <i>a</i>	-0.90
<i>Bosmina longirostris</i> (jed/g DW _{mf})	AFDW (mg/L)	0.96



Slika 14. Udio Rotifera, Cladocera, Copepoda u brojnosti epifitona na irisu (I2) i menti (M2).

5. RASPRAVA

Okolišni čimbenici

Budući da su rukavci malih površina, fizičko-kemijski parametri nisu pokazivali značajne razlike između slobodne vode i litoralne zone, što su već utvrdili u prethodnim istraživanjima provedenim u zimskom i proljetnom razdoblju u RK1 (MESELJEVIĆ, 2009) i RK2 (GRČIĆ, 2010) te drugi autori u istraživanjima plitkih, eutrofnih vodenih ekosustava (RODRIGO i sur., 2001; ARORA i MEHRA, 2003).

Koncentracija otopljenog kisika važan je čimbenik u vodenim ekosustavima, a njegova količina ovisi o temperaturi vode, fizičkom prozračivanju te o biološkoj proizvodnji (fotosinteza) i potrošnji (respiracija). Odnos između koncentracije otopljenog kisika i temperature opisuje Henryjev zakon, prema kojemu je pri nižim temperaturama koncentracija otopljenog kisika viša nego pri višim temperaturama. U ovom istraživanju vrijednosti temperature i kisika nisu pokazivale negativnu korelaciju, već pozitivnu, iako ona nije bila statistički značajna. Dobivene rezultate objašnjavam intenzivnom fotosintezom koja je utjecala na povećanje koncentracije

kisika u ljetnom razdoblju, te je odnos temperature i koncentracije otopljenog kisika bio suprotan fizikalnim zakonitostima.

S obzirom na termiku, istraživani rukavci se ubrajaju u polimiktičke sustave, što znači da se stupac vode miješa više puta godišnje, najčešće djelovanjem vjetrova (GRČIĆ, 2010; MESELJEVIĆ, 2009). Prilikom miješanja vode dolazi do resuspenzije sedimenta i obogaćivanja gornjeg sloja vode hranjivim tvarima, čime se povećava primarna, pa i sekundarna produkcija. Istraživanje je provedeno u ljetnom razdoblju, stoga je bilo očekivano da će se u velikoj brojnosti naći „ljetne vrste“ kojima odgovara toplija voda, kao što su: rod *Polyarthra*, vrste *Ascomorpha saltans*, *Gastropus stylifer*, *Ploesoma hudsoni*, *Synchaeta pectinata*, *Tricocerca capucina*, *Pompholyx sulcata*, *Fillinia longiseta* (BĚRZIŃŠ i PEJLER, 1989).

pH vrijednosti manje od 6.5 i veće od 9 uzrokuju smanjenje raznolikosti zooplanktona (IVANOVA i KAZANTSEVA, 2006), no u ovom istraživanju pH vrijednosti su se kretale uglavnom oko neutralnog pH. Jedinkama najbrojniji rod kolnjaka u oba rukavca bio je *Polyarthra*, koji postiže maksimum brojnosti pri vrijednostima od oko pH 7 (BĚRZIŃŠ i PEJLER 1987). Povezanost razvoja pojedinih vrsta kolnjaka i pH vrijednosti uočili su također u svojim istraživanjima BĚRZIŃŠ i PEJLER (1987) te KUCZYŃSKA-KIPPEN i KLIMASZYK (2007).

Statistički značajnu razliku između vrijednosti konduktiviteta RK1 i RK2 objašnjavam ispiranjem većih količina aniona i kationa s oranica u RK1 te većom mineralizacijm organskih tvari prilikom koje dolazi do opsežnog oslobađanja iona. Neki autori, primjerice DODSON i sur. (2009) i BIELAŃSKA-GRAJNER i GŁADYSZ (2009), utvrdili su pozitivnu korelaciju između sastava i brojnosti zooplanktona i konduktiviteta, koja je zabilježena i u ovom istraživanju, ali ne na razini statističke značajnosti.

U RK2 je zabilježena značajno veća prozirnost vode koja pogoduje vizualnim predatorima (ESTLANDER i sur., 2009) te manji stupanj trofije u odnosu na RK1. Takav odnos vrijednosti rukavaca utvrđen je i u prethodnim istraživanjima koje su proveli MESELJEVIĆ (2009) i GRČIĆ (2010) tijekom zimskog i proljetnog razdoblja iste godine. Veća prozirnost u RK2 može se objasniti morfometrijskim obilježjima rukavaca te njihovim okruženjem. RK2 je okružen

livadama, a RK1 oranicama, stoga je u njemu izraženiji unos hranjivih tvari i suspendiranih čestica uslijed ispiranja okolnih područja, na što je ukazala i statistički značajna negativna korelacija između prozirnosti i AFDW. Nadalje, RK1 ima strmije obale i užu pojas makrofita, stoga je njihov utjecaj na resuspenziju sedimenta i potrošnju hranjivih tvari manje izražen u odnosu na RK2. Utjecaj povećanja površine prekrivene makrofitima na smanjenje resuspenzije sedimenta i općenito smanjenje trofije sustava potvrdili su u svojim istraživanjima HORPPILA i NURMINEN (2001, 2005). Kao jedno od objašnjenja visokog stupnja trofije rukavaca (eutrofini do politrofini) navodim malu širinu pojasa makrofita.

Kako nisu zabilježene visoke vrijednosti nutrijenta, zaključujem da su se hranjive tvari (nitratni i orto-fosfatni spojevi) brzo uključivale u biogeni ciklus kruženja tvari prvenstveno preko fitoplanktona. Bujanje fitoplanktona potiče porast brojnosti zooplanktona koji zajedno zasjenjuju dno rukavca i time također onemogućavaju razvoj submerznih makrofita. Na primjer, u RK2 najmanja prozirnost vode zabilježena je u rujnu kod vrlo visoke koncentracije klorofila *a*, odnosno velike biomase fitoplanktona koja je praćena i velikom brojnošću zooplanktona. Smanjenu prozirnost vode kao uzrok nedostatka submerzne vegetacije u plitkim jezerima, potvrdili su u svojim istraživanjima IRFANULLAH i MOSS (2004) te CAZZANELLI i suradnici (2008). Kako je unos nutrijenata bio izraženiji u RK1, tako je i biomasa fitoplanktona bila značajno veća u RK1, što objašnjava veću brojnost jedinki u odnosu na RK2.

Zooplankton

U litoralu RK1 zabilježeno je ukupno više vrsta u odnosu na slobodnu vodu, što objašnjavam prisutnošću makrofita koji stvaraju dodatne ekološke niše (KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2006; JEPPESEN i sur., 2002). U RK2 sastav svojti zooplanktona slobodne vode i litorala bio je vrlo sličan, što je, smatram, uzrokovano malom površinom jezera i širom zonom makrofita, pa je zona slobodne vode manja i pod većim utjecajem litoralne zone (CRYER i TOWNSEND, 1988).

Ribe su za velike prozirnosti vode selektivne prilikom odabira hrane, biraju veći plijen, npr. rakove iz skupine Cladocera (CAZZANELLI i sur., 2008). To je pogotovo vidljivo na primjeru najvećeg rašljoticalca, time i najugroženijeg vizualnom predacijom riba, vrste *Ceriodaphnia*

quadrangula za koju je u ovom istraživanju utvrđeno povećanje brojnosti u litoralu RK2 s povećanjem prozirnosti u slobodnoj vodi. U vrijeme manje prozirnosti, selekcija je slabija te skupina Cladocera može povećati svoju brojnost u zoni slobodne vode. Neki autori navode da je prisutnost vrste *Bosmina longirostris* u litoralnoj zoni indikator predacijskog pritiska riba (CAZZANELLI i sur., 2008; ESTLANDER i sur., 2009). Rezultati mog istraživanja u skladu su s navedenim, o čemu govori podatak da je brojnost vrste *Bosmina longirostris* u RK1 bila veća u slobodnoj vodi kada je prozirnost bila manja, a koncentracija suspendiranih organskih tvari veća. (BURKS i sur., 2002). Horizontalna raspodjela planktonskih rakova u RK2 ukazuje na izraženiji predatorski pritisak nego u RK1 zbog čega su rašljoticalci našli zaklon među biljem, što odgovara rezultatima drugih istraživanja (BURKS i sur., 2002; JEPPESEN i sur., 2002; ROMARE i sur., 2003; KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2006; CAZZANELLI i sur., 2008).

U ovom istraživanju utvrđena je veća brojnost Copepoda u slobodnoj vodi. Veslonošci su brzi, stoga nisu toliko ugroženi ribljom predacijom u slobodnoj vodi (CAZZANELLI i sur., 2008). Također, u ovom istraživanju je u slobodnoj vodi bilo više njihove hrane – algi (ROMARE i sur., 2003), što je potvrdila pozitivna korelacija brojnosti Copepoda s većom koncentracijom klorofila *a*. Osim algama, odrasle jedinke Copepoda i kopepoditi mogu se fakultativno hraniti jedinkama euplanktonskog roda *Polyarthra* (BRANDL, 2005). Ovom fakultativnom predacijom objašnjavam negativnu korelaciju u slobodnoj vodi RK1 između veslonožaca i roda *Polyarthra*. Kako je u RK2 bio jači predacijski pritisak riba, čak su se i jedinke kopepoditskog razvojnog stadija veslonožaca sklanjale među makrofite, što nije bilo zabilježeno u RK1 (PASTERNAK i sur., 2006). Kao što je prije rečeno, smanjenje predacijskog pritiska u RK1 u odnosu na predacijski pritisak u RK2, objašnjavam manjom prozirnošću koja ometa ribe kao vizualne predatore.

Na visok stupanj trofije u RK1 ukazuju i indikatorske vrste kolnjaka *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta* te vrste rodova *Brachionus*, *Polyarthra* i *Trichocerca* (MIŠETIĆ, 1985). Mnogi autori potvrdili su kako je velika brojnost određenih vrsta posljedica povećanja stupnja trofije vodenog ekosustava (CASTRO i sur., 2005; MAY i O'HARE, 2005). Koegzistencija brojnih jedinki vrsta roda *Polyarthra* i vrste *Keratella cochlearis* objašnjava se izostankom kompeticije budući da pripadaju različitim trofičkim skupinama. Vrste roda *Polyarthra* pripadaju skupini makrofiltratora koji se hrane nanofitoplanktonskim algama veličine 20 do 30 µm, dok je vrsta

Keratella cochlearis mikrofiltrator – sedimentator koja se hrani bakterijsko-detritusnom suspenzijom, reda veličine od 1 do 3 μm (BOGDAN i GILBERT, 1984). Velika brojnost ovih vrsta u slobodnoj vodi proizlazi iz male veličine njihovih tijela te nisu adekvatan plijen za vizualne predatore. Horizontalna raspodjela euplanktonskih i semiplanktonskih vrsta u skladu je s rezultatima drugih autora (SAUNDERS-DAVIES, 1989; DUGGAN, 2001). Tako su vrste roda *Polyarthra* i *Keratella cochlearis*, kao euplanktonske dominirale u slobodnoj vodi, a u litoralu su još zanačajne bile semiplanktonske vrste *Lecane lunaris* i *Trichocerca bicristata*, što odgovara rezultatima istraživanja drugih autora (PENNAK, 1966; DUGGAN, 2001). U RK2 rod *Trichocerca*, bio je zastupljeniji u slobodnoj vodi, što je u ovom radu uzrokovano bogatijim izvorom njihove hrane, algi, na što je ukazala pozitivna korelacija s koncentracijom klorofila *a*.

Epifiton

U ovom istraživanju zabilježeno je kako su zajednice značajno bogatije među makrofitima, tj. u litoralnoj zoni (L1 i L2) nego na samim makrofitima, što se može objasniti činjenicama o epifitskim zajednicama koje navodi DUGGAN (2001): nižom razinom vode zbog smanjenja padalina u ljetnom razdoblju, jednostavnom građom stabljika te starošću makrofita.

U ovom istraživanju je potvrđeno da velika brojnost jedinki može reducirati izvore hrane. Na primjer, kod veće brojnosti nauplija (zabilježeno u epifitonu I1) bila je smanjena biomasa algi kao što su zabilježili i drugi autori (MACINNIS, 1997; JONES i sur., 1998; AZIM i sur., 2005). Za vrste roda *Lecane* u epifitonu utvrđeno je da smanjuju raspoloživu koncentraciju detritusa, što je utvrdila u svom istraživanju i MACINNIS (1997). Pozitivna korelacija zooepifitona i koncentracije klorofila *a* u ovom istraživanju potvrđuje da je obilje hrane uzrok velike brojnosti vrste *Ascomorpha saltans* u epifitonu I1. Ovo je vrsta koja obitava u slobodnoj vodi, međutim, njena velika brojnost na emerznoj vegetaciji bila je utvrđena i u drugim istraživanjima (KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2006), što se objašnjava prehranom ove vrste dinoflagelatnim algama u epifitonu (ARMENGOL i MIRACLE, 2000). U epifitonu obaju makrofita u RK2 je utvrđena velika brojnost jedinki skupine Bdelloidea, što odgovara rezultatima drugih istraživanja, a objašnjava se nalaženjem hrane u detritusu epifitona koji je bio bogatiji u RK2 (KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2003; PEJLER, 2004). Rakovi su u epifitonu zabilježeni u maloj brojnosti, jer nisu vrste koje obitavaju

na biljkama, već se povremeno prihvaćaju za njih tijekom „grazinga“, tj. hranjenja epifitonskim algama i detritusom (HORPPILA i NURMINEN, 2008). Na menti je zabilježen značajan porast brojnosti vrste *Bosmina longirostris* s porastom količine detritusa u epifitonu, dok je na irisu ova vrsta bila toliko brojna da je uzrokovala smanjenje količine raspoloživog detritusa u epifitonu, što je u skladu s istraživanjima drugih autora (CAZZANELLI i sur., 2008).

U epifitonu RK1 utvrđena je pozitivna korelacija između brojnosti svojti i suhe mase biljke, koja sugerira da je veličina biljke i površina važna za razvoj epifitonske zajednice, što je utvrđeno u nizu dosadašnjih istraživanja (DUGGAN, 2001; DUGGAN i sur., 2001; KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2003; BECERRA-MUNOZ i SCHRAMM, 2007; CAZZANELLI i sur., 2008).

U epifitonu RK2 zabilježeno je više svojti, ali i veća brojnost jedinki epifitona u odnosu na RK1. Ovu razliku objašnjavam većom raznolikošću makrofita, koji stvaraju kompleksnije stanište te većom širinom makrofitskog pojasa, koji ima stabilnije uvjete za život epifitona, kao što je utvrdila u svom istraživanju i KUCZYŃSKA-KIPPEN (2003). Nisam utvrdila značajnu razliku u kvalitativom sastavu između zajednica epifitona na irisu i menti u RK2. Razlog tome nalazim u kratkom vremenu postojanja zajednice, odnosno, epifiton se još nije u potpunosti razvio već je u početnoj „pionirskoj“ fazi naseljavanja (DUGGAN, 2001). Naime, ribiči režu emerznu vegetaciju oko rukavaca radi lakšeg pristupa jezeru, pa se stabljike pojavljuju tek krajem travnja. Smatram da to vremensko razdoblje nije dovoljno da se pokažu razlike između epifitona na biljkama različitog habitusa, kakve su u svojim radovima zabilježili mnogi autori (DUGGAN, 2001; DUGGAN i sur., 2001; KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2003; BECERRA-MUNOZ i SCHRAMM, 2007; CAZZANELLI i sur., 2008). Međutim, razlika je zabilježena u brojnosti jedinki epifitona između irisa i mente (iako ne statistički značajna), koju objašnjavam složenijom arhitekturom habitusa mente (KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2003; CAZZANELLI i sur., 2008), ali i raspoloživom količinom hrane, što su potvrdile pozitivne korelacije brojnosti epifitona i koncentracije klorofila *a* i detritusa.

6. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja zooplanktona i epifitona provedenog tijekom ljetnog razdoblja 2008. godine u rukavcima rijeke Krapine, a koje je obuhvatilo skupine kolnjaka (Rotifera), veslonožaca (Copepoda) i rašljoticalaca (Cladocera), mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Fizičko-kemijski čimbenici te raspoloživi izvori hrane nisu se značajno razlikovali unutar rukavaca. Između rukavaca zabilježena je značajna razlika prozirnosti vode i koncentracije klorofila *a* koja je utjecala na sastav zajednica zooplanktona i epifitona. Manja prozirnost vode u RK1 uvjetovana je užom zonom makrofita i većom koncentracijom suspendiranih organskih tvari, dok je veća prozirnost u RK2 uvjetovana širom zonom makrofita i sastavom zooplanktona, što je potvrdilo postavljenu hipotezu rada.
- U sastavu zooplanktona obaju rukavaca dominirale su od Rotifera vrste roda *Polyarthra* te vrsta *Keratella cohlearis*, od Copepoda ličinački stadiji, a Cladocera su u RK1 bili zastupljeni manjim, a u RK2 većim vrstama. Algivorni Rotifera i Copepoda dominirali su u slobodnoj vodi, za što je bila ključna raspoloživost hrane, na što ukazuje značajna pozitivna korelacija s koncentracijom klorofila *a*.
- Predacijski pritisak riba (vizualnih predatora) bio je ublažen manjom prozirnošću vode i višim stupnjem trofije u RK1, što je potvrdilo postavljenu hipotezu rada. Brojnost vrste *Bosmina longirostris* u slobodnoj zoni određena je kompeticijom s vrstom *K. cochlearis* i prozirnošću vode, odnosno predacijskim pritiskom riba.
- U rukavcu s većom prozirnošću vode, RK2, predacijski pritisak bio je izraženiji, što se očitovalo u povećanju brojnosti skupine Cladocera u litoralnoj zoni paralelno s povećanjem prozirnosti vode. Veća prozirnost ukazuje na niži stupanj trofije u RK2 u odnosu na RK1, što se očitovalo i u manjoj brojnosti zooplanktona.
- U jezeru sa širom zonom makrofita brojnost svojti epifitona bila je veća. Također, veća brojnost epifitona zabilježena je na strukturno složenijim stabljikama vodene metvice u odnosu na jednostavne stabljike irisa. Raznolikost vrsta makrofita i šira zona makrofita pozitivno utječu na raznolikost i brojnost epifitona što potvrđuje hipotezu rada.

7. LITERATURA

- AMOROS, C., 1984. Crustaceans cladocera, Bull. Soc. Linn., Lyon, 3/4, 1 – 63.
- APHA, 1985, Standard methods for the examination of water and waste. 12th ed. American Public Health Association. New York.
- ARMENGOL, X. i MIRACLE, M. R., 2000. Diel vertical movements of zooplankton in lake La Cruz (Cuenca, Spain). Journal of Plankton Research 22(9): 1683-1703.
- ARORA, J. i MEHRA, N. K., 2003. Species diversity of planctonic and epiphytic rotifers in the backwaters of the Delhi segment of the Yamuna river, with remarks on new records for India. Zoological studies 42: 239-247.
- AZIM, M. E, VERDEGEM, M. C. J., VAN DAM, A. A. i BEVERIDGE, M. C. M., 2005. Periphyton: ecology, exploitation and management. CABI Publishing.
- BECERRA-MUNOZ, S. i SCHRAMM JR., H. L., 2007. On the influence of substrate morphology and surface area on phytofauna. Hydrobiologia 575: 117-128.
- BERZINŠ, B. i PEJLER, B., 1987. Rotifer occurrence in relation to pH. Hydrobiologia 147: 107-116.
- BERZINŠ, B. i PEJLER, B., 1989. Rotifer occurrence in relation to temperature. Hydrobiologia 175: 223-231.
- BIELAŃSKA-GRAJNER, I. i GŁADYSZ, A., 2009. Planktonic rotifers in mining lakes in the Silesian Upland: Relationship to environmental parameters. Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters 40: 67-72.
- BOGDAN, K. G. i GILBERT, J. J., 1984. Body size and food size in freshwater zooplankton. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 81, 6427–6431.
- BRANDL, Z., 2005. Freshwater copepods and rotifers: predators and their prey. Hydrobiologia 546:475–489.
- BREITIG, G. i TÜMPLING, W., 1982. Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. Band II: Biologische, mikrobiologische und toxikologische Methoden. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BURKS, R. L., JEPPESEN, E. i LODGE, D. M., 2000. Chemicals from macrophytes and fishes suppress *Daphnia* growth and alter life history traits. Oikos 88: 139-147.
- BURKS, R. L., JEPPESEN, E. i LODGE, D. M., 2001. Pelagic prey and benthic predators: the impact of odonates on *Daphnia*. Journal of the North American Benthological Society 20: 615-628.

- BURKS, R. L., LODGE, D. M., JEPPESEN, E. i LAURIDSEN, T. L., 2002. Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* 47: 343-365.
- CARLSON, R. E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369.
- CASTRO, B. B., ANTUNES, S. C., PEREIRA, R., SOARES, A. M. V. M. i GONÇALVES S. F., 2005. Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and explanatory factors. *Hydrobiologia* 543: 221-232.
- CAZZANELLI, M., WARMING, T. P. i CHRISTOFFERSEN K. S., 2008. Emergent and floating-leaved macrophytes as refuge for zooplankton in a eutrophic temperate lake without submerged vegetation. *Hydrobiologia* 605: 113-122.
- CHAMBERS, P. A., LACOU, P., MURPHY, K. J. i THOMAZ, S. M., 2008. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 9-26.
- CONCE-POPCUNA, i J. M. DECLERCK, S., 1998. Regulation of rotifer species by invertebrate predators in a hypertrophic lake: selective predation on egg-bearing females and induction of morphological defences. *Journal of Plankton Research* 20: 605-618.
- COTTENIE, K., NUYTTEN, N., MICHELS, E. i DE MEESTER, L., 2001. Zooplankton community structure and environmental conditions in a set of interconnected ponds. *Hydrobiologia* 442: 339-350.
- CRYER, M. i TOWNSEND, C. R., 1988. Spatial distribution of zooplankton in a shallow eutrophic lake, with a discussion of its relation to fish predation. *Journal of plankton research* 10 (3): 487-501.
- DODSON, S. I., NEWMAN, A. L., WILL-WOLF, S., ALEXANDER, M. L., WOODFORD, M. P. i VAN DUGGAN, I. C., 2001. The ecology of periphytic rotifers. *Hydrobiologia* 446/447: 139-148.
- DUGGAN, I. C., GREEN, J. D., THOMPSON, K., SHIEL, R. J., 2001. The influence of macrophytes on the spatial distribution of littoral rotifers. *Freshwater Biology* 46: 777-786.
- DUMONT, H. J., 1977. Biotic factors in the population dynamics of rotifers. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 8: 98-122.
- EGEREN, S., 2009. The relationship between zooplankton community structure and lake characteristics in temperate lakes (Northern Wisconsin, USA). *Journal of plankton research* 31: 92-100.
- EINSLE, U., 1993. Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Gustav Fischer Verlag, Berlin.

- ESTLANDER, S., NURMINEN, L., OLIN, M., VINNI, M. i HORPPILA, J., 2009. Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia* 620: 109-120.
- GILBERT, J. J., 1988. Suppression of rotifers populations by *Daphnia*: a review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. *Limnology and Oceanography*. 133: 1286 – 1303.
- GILBERT, J. J., 1989. Competitive interactions between the rotifer *Synchaeta oblonga* and the cladoceran *Scapholebris kingi*. *Hydrobiologia* 186/187: 75-80.
- GOOGLE EARTH, 2009. Slika preuzeta 15. 05. 2010.
- GRČIĆ, Z., 2010. Trofička struktura zooplanktona u rukavcu rijeke Krapine. Diplomski rad na Biološkom odsjeku PMF-a, Sveučilište u Zagrebu.
- HANN, B. J., 1995. Invertebrate associations with submersed aquatic plants in a prairie wetland. UFS (Delta Marsh) Annual Report 30: 78-84.
- HERZIG, A., 1987. The analysis of planktonic rotifer populations: a plea for long term investigations. *Hydrobiologia* 147: 163-180.
- HORPPILA, J. i NURMINEN, L., 2001. The effect of an emergent macrophyte (*Typha angustifolia*) on sediment resuspension in a shallow north temperate lake. *Freshwater Biology* 46: 1447-1455.
- HORPPILA, J., i NURMINEN, L., 2005. Effects of different macrophyte growth forms on sediment and P resuspension in a shallow lake. *Hydrobiologia* 545: 167-175.
- HORPPILA, J. i NURMINEN, L., 2008. Diurnal variation in light intensity underneath floating macrophyte leaves and implications for the behaviour of plant-attached zooplankton. *Biological Rhythm Research* 39: 349-357.
- HOELL, K., 1986. Wasser Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Virologie, Biologie (7th edition). Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
- IRFANULLAH, H. MD i MOSS, B., 2004. Factors influencing the return of submerged plants to a clear-water, shallow temperate lake. *Aquatic Botany* 80: 177-191.
- IVANOVA, M. B. i KAZANTSEVA, T. I., 2006. Effect of water pH and total dissolved solids on the species diversity of pelagic zooplankton in lakes: a statistical analysis. *Russian Journal of Ecology* 37: 264-270.

- JEPPESEN E., JENSEN J. P., SØNDERGAARD M. i LAURIDSEN T. L., 1999. Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia* 408/409: 217-231.
- JEPPESEN, E., PEKCAN-HEKIM, Z., LAURIDSEN, T. L. i SUR., 2006. Habitat distribution of fish in late summer: changes along a nutrient gradient in Danish lakes. *Ecology of Freshwater Fish* 15: 180-190.
- JEPPESEN, E., SØNDERGAARD, M., SØNDERGAARD, M., CHRISTOFFERSEN, K., THEIL-NIELSEN, J. i JÜRGENS, K., 2002. Cascading trophic interactions in the littoral zone: an enclosure experiment in shallow Lake Stigsholm, Denmark. *Arch. Hydrobiol.* 153: 533-555.
- JONES, J. I., MOSS, B. i YOUNG J. O., 1998. Interactions between Periphyton Nonmolluscan Invertebrates and Fish in standing Freshwater. Poglavlje 4 u Jeppesen, E. i sur: The structuring role of submerged macrophytes in lakes. Springer-Verlag New York.
- KALFF, J., 2002. *Limnology: Inland Water Ecosystems*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- KEROVEC, M., 1988. *Ekologija kopnenih voda*. Hrvatsko ekološko društvo.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN, N., 2001. Diurnal vertical distribution of rotifers (Rotifera) in the *Chara* zone of Budzyńskie Lake, Poland. *Hydrobiologia* 446/447: 195-201.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN, N., 2003. The distribution of rotifers (Rotifera) within a single *Myriophyllum* bed. *Hydrobiologia* 506-509: 327-331.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN, N., 2006. Zooplankton structure in architecturally differentiated macrophyte habitats of shallow lakes in the Wielkopolska Region, Poland. *Oceanological and Hydrobiological Studies – International Journal of Oceanography and Hydrobiology* 35(2): 179-191.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN, N. i KLIMASZYK, P., 2007. Diel distribution of physical and chemical parameters within the dense *Chara* bed and their impact on zooplankton. *Biologia, Bratislava* 62/4: 432-437.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN, N. i NAGENGAST, B., 2003. The impact of the spatial structure of hydromacrophytes on the similarity of rotifera communities (Budzyńskie Lake, Poland). *Hydrobiologia* 506-509: 333-338.
- MACINNIS, M., 1997. Grazer control of bacterial abundance in a freshwater pond community. Magistarski rad na Sveučilištu Britanske Kolumbije.

- MARGALEF, R., 1983. Limnologia. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- MAY, L. i O'HARE, M., 2005. changes in rotifer species composition and abundance along a trophic gradient in Loch Lomond, Scotland, UK. *Hydrobiologia* 546: 397-404.
- MESELJEVIĆ, M., 2009. Horizontalna raspodjela zooplanktona u poribljenom rukavcu rijeke Krapine. Diplomski rad na Biološkom odsjeku PMF-a, Sveučilište u Zagrebu.
- MIŠETIĆ, S., 1985. Dinamika populacija kolnjaka u planktonu šaranskih ribnjaka. Doktorski rad Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- MOSS, B, KORNOJOW, R. i MEASEY, G. J., 1998. The effects of nymphaeid (*Nuphar lutea*) density and predation by perch (*Perca fluviatilis*) on the zooplankton communities in a shallow lake. *Freshwater Biology* 39: 689-697.
- NUSCH, EA, 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 14: 14-36.
- PASTERNAK, A. F., MIKHEEV, V. N. i WANZENBÖCK, J., 2006. How Plankton Copepods Avoid Fish Predation: from Individual Responses to Variations of the Life Cycle. *Journal of Ichthyology* 46: S220–S226.
- PEJLER, B., 1962. On the taxonomy and ecology of benthic and periphytic Rotatoria. Investigations in northern Swedish Laoland. *Zool. Bidr. Upps.* 33: 327-422.
- PEJLER, B., 2004. Relation to habitat in rotifers. *Hydrobiologia* 314-314 (1): 267-278.
- PENNAK, R. K., 1966. Structure of zooplankton populations in the littoral macrophyte zone of some Colorado lakes. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 85: 329-349.
- RODRIGO, M. A., ARMENGOL-DÍAZ, X., OLTRA, R., DASÍ, M. J. i COLOM, W., 2001. Environmental Variables and Planktonic Communities in Two Ponds of El Hondo Wetland (SE Spain). *Internat. Rev. Hydrobiol.* 86: 299-315.
- ROMARE, P., BERG, S., LAURIDSEN, T. i JEPPESEN, E., 2003. Spatial and temporal distribution of fish and zooplankton in a shallow lake. *Freshwater Biology* 48: 1353-1362.
- SAUNDERS – DAVIES, A. P. 1989. Horizontal distribution of plankton rotifers *Keratella cochlearis* and *Polyarthra vulgaris* in a small eutrophic lake. *Hydrobiologia* 186/7: 153-156.
- SHANNON, C. E. i WEAVER, W., 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- SHARMA, B. K., 2005. Rotifer communities of floodplain lakes of the Brahmaputra basin of lower Assam (N. E. India): biodiversity, distribution and ecology. *Hydrobiologia* 533: 209-221.

- SØRENSEN, T., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter / Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, 5 (4): 1–34
- STEMBERGER, R. S. i GILBERT, J. J., 1984. Spine development in the *Keratella cochlearis*: induction by cyclopoid copepods and *Asplanchna*. *Freshwater Biology* 14: 639 – 647.
- STEMBERGER, R. S. i GILBERT, J. J., 1987. Defenses of planktonic rotifers against predators. In *Predation: Direct and Indirect Impacts on Aquatic Communities*. University Press of New England, Hanover, New Hampshire. pp. 227-239.
- ŠPOLJAR, M., HABDIJA, I., PRIMC-HABDIJA, B. i SIPOS, L., 2005. Impact of Environmental Variables and Food Availability on Rotifer Assemblage in the Karstic Barrage Lake Visovac (Krka River, Croatia). *Hydrobiologia* 90: 555-579.
- TESSIER, C., CATTANEO, A., PINEL-ALLOUL, B., HUDON, C. i BOCARD, D., 2008. Invertebrate communities and epiphytic biomass associated with metaphyton and emergent and submerged macrophytes in a large river. *Aquatic Sciences* 70: 10-20.
- TORREMORELL, A., BUSTIGORRY, J., ESCARAY, R. i ZAGARESE, H. E., 2007. Seasonal dynamics of a large, shallow lake, laguna Chascomus: the role of light limitation and other physical variables. *Limnologia* 37: 100-108.
- VIEIRA, L. C. G., BINI, L. M., VELHO, L. F. M. i MAZAO, G. R., 2007. Influence of spatial complexity on the density and diversity of periphytic rotifers, microcrustaceans and testate amoebae. *Fundamental and Applied Limnology – Archiv für Hydrobiologie* 170/1: 77-85.
- VILLENEUVE, A., MONTUELLE, B. i BOUCHEZ, A., 2010. Influence of slight differences in environmental conditions (light, hydrodynamics) on the structure and function of periphyton. *Aquatic Sciences* 72: 33-44.
- VOIGT, M. i KOSTE, W., 1978. *Die Rädertiere Mitteleuropas*. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart
- WALLACE, R. L. i EDMONDSON, W. T., 1986. Mechanism and adaptive significance of substrate selection by a sessile rotifer. *Ecology* 67: 314-323.
- WELLMAN, C. H., OSTERLOFF, P. L. i MOHIUDDIN, U., 2003. Fragments of the earliest land plants. *Nature* 425: 282-285.
- WALSH, E. J., 1995. Habitat specific predation susceptibilities of a littoral rotifer to two invertebrate predators. *Hydrobiologia* 313/314: 205-211.

WICKHAM, S. A. i GILBERT, J. J., 1990. Relative vulnerability of natural rotifer and ciliate communities to cladocerans: laboratory and field experiments. *Freshwater Biology* 26: 77-86.